

VŠB – technická univerzita Ostrava

Fakulta strojní

Katedra robototechniky

Řízení polohovadla pro ABB robot

Control of a positioner for ABB robot

Student:

Radim Břenek

Vedoucí bakalářské práce:

Ing. Ján Babjak

Ostrava 2010

Místopřísežné prohlášení studenta

Prohlašuji, že jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího bakalářské práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.

V Ostravě 21.5.2010

.....

Radim Břenek

Prohlašuji, že

- jsem celou bakalářskou práci včetně příloh vypracoval samostatně pod vedením vedoucího diplomové práce a uvedl jsem všechny použité podklady a literaturu.
- byl jsem seznámen s tím, že na moji bakalářskou práci se plně vztahuje zákon č. 121/2000 Sb. – autorský zákon, zejména §35 – užití díla v rámci občanských a náboženských obřadů, v rámci školních představení a užití díla školního a §60 – školní dílo.
- beru na vědomí, že Vysoká škola báňská – Technická univerzita Ostrava (dále jen VŠB-TUO) má právo nevýdělečně ke své vnitřní potřebě bakalářskou práci užít (§35 odst. 3).
- souhlasím s tím, že jeden výtisk bakalářské práce bude uložen v Ústřední knihovně VŠB-TUO k prezenčnímu nahlédnutí a jeden výtisk bude uložen u vedoucího bakalářské práce. Souhlasím s tím, že údaje o bakalářské práci, obsažené v Záznamu o závěrečné práci, umístěném v příloze mé bakalářské práce, budou zveřejněny v informačním systému VŠB-TUO.
- bylo sjednáno, že s VŠB-TUO, v případě zájmu z její strany, uzavřu licenční smlouvu s oprávněním užít dílo v rozsahu §12 odst. 4 autorského zákona.
- bylo sjednáno, že užít své dílo – bakalářskou práci nebo poskytnout licenci k jejímu využití mohu jen se souhlasem VŠB-TUO, která je oprávněna v takovém případě ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které byly VŠB-TUO na vytvoření díla vynaloženy (až do jejich skutečné výše).
- beru na vědomí, že odevzdáním své práce souhlasím se zveřejněním své práce podle zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, bez ohledu na výsledek její obhajoby.

V Ostravě : 21. 5. 2010

.....

Radim Břenek

Radim Břenek

K Hájence 263

Šenov 739 34

## **Anotace bakalářské práce**

BŘENEK, R. *Řízení polohovadla pro robot ABB: bakalářská práce*. Ostrava: VŠB – Technická univerzita Ostrava, Fakulta strojní, Katedra robototechniky, 2010, 44s. Vedoucí práce: Babjak J.

Bakalářská práce se zabývá řízením polohovadla firmy ZTS pomocí mikroprocesoru. V úvodu je popsán způsob řízení stejnosměrných motorů, návrh snímačů polohy pro získávání zpětné vazby skutečného pohybu motorů, zpracování těchto dat a zanesení do procesu řízení. Jsou navrženy všechny potřebné prvky výkonové potřebné pro řízení polohovadla. Dále je vybrán mikroprocesor a navržen program pro řízení těchto výkonových prvků. Závěrem bakalářské práce je řešena komunikace mezi mikroprocesorem a řídicím systémem robotu ABB.

## **Annotation of bachelor thesis.**

BŘENEK, R. *Control of a positioner for ABB robot: bachelor thesis*, Ostrava: VŠB – Technical university of Ostrava, Faculty of Mechanical Engineering, Department of Robotics, 2010, 44p. Thesis head: Babjak J.

Bachelor thesis deals with the control of ZTS company manipulators using a microprocessor. The introduction describes how to control motors, position sensors for design feedback actual movement of engines, the analysis of data and input into the management process. They are designed with all necessary power elements needed for control manipulators. It is selected by a microprocessor and designed a program to control the power elements. In conclusion, this work is dealt with communication between the microprocessor and control system ABB robots.

## **Poděkování**

Můj velký dík patří vedoucímu Bakalářské práce, panu ing. Babjakovi za odborné rady, zapůjčení různých potřebných zařízení, pomoc při řešení problémů, výrobu desek plošných spojů ale hlavně za celoroční podporu a obětavost, bez které by tato práce nevznikla.

Dále chci poděkovat panu Byrtusovi za skvělou spolupráci a panu Ranochovi za pomoc při řešení technických problému.

**Obsah:**

	<b>Kapitola</b>	<b>Stránka</b>
<b>1 Úvod</b>		9
<b>2 Řízení stejnosměrného motoru</b>		
2.1 Princip funkce stejnosměrného motoru		10
2.2 Regulace otáček motoru		11
2.3 Změna směru otáčení motoru		11
2.4 Zvolený způsob řízení motoru		12
<b>3 Enkoder</b>		
3.1 - Přesnost polohování – počet impulsů		14
3.2 - Kolečko enkoderu		14
3.3 - Použitá optická závora		15
3.4 - Obvod pro úpravu signálu		16
3.5 - Ladění enkoderu		17
<b>4 Nulové polohy a koncové dorazy</b>		19
<b>5 Brzdy</b>		
5.1 - Volba spínacích tranzistorů		21
5.2 - Schéma zapojení a plošný spoj spínače.		21
<b>6 – H-most</b>		
6.1 - Nároky na H-most		23
6.2 - Zvolené tranzistory		23
6.3 - Budiče tranzistorů		25
6.4 - Zapojení H-mostu		25
<b>7. Zdrojová část</b>		
7.1 - Zdroj pro napájení stejnosměrných motorů		28
7.2 - Zdroj 2x12V a 5V		28
7.3 - 24V Zdroj pro ovládání brzd		28
7.4 - Spínací relé		28
<b>8 - Mikroprocesor</b>		
8.1 - Zapojení a pomocné obvody		29
8.2 - Obvody pro úpravu signálu PWM		30
8.3 - Obvod MAX232		31
8.4 - Zapojení konektorů		31
<b>9 - Program mikroprocesoru</b>		
9.1 - Generování PWM		33
9.2 - Sčítání impulsů z enkoderu		34
9.3 - Řízení motoru		35
<b>10 - Komunikace mezi mikroprocesorem a ABB IRC5</b>		
10.1 - Propojení mikroprocesoru a IRC5		37
10.2 - Formát přenášených dat.		37
10.3 - Odesílání zprávy z IRC5		38
10.4 - Příjem zprávy v mikroprocesoru.		38
10.5 - Informace o dokončení.		40
<b>11 - Historie vývoje</b>		
11.1 - Vývoj H-mostu		42
11.2 - Vývoj enkoderu		42
<b>12 - Závěr</b>		43
<b>14 - Použitá literatura</b>		44
<b>15 - Přílohy dokumentu</b>		44

## Použité zkratky a symboly

### Použité Symboly

Symbol	Jednotka	Význam
a	$\text{ms}^{-1}$	Zrychlení
Bit	Bit	Základní jednotka paměti
B	Byte	8 bitů
C	pF	Kapacita
f	Hz	Frekvence
F	N	Síla
I	A	Proud
n	-	Počet
o	mm	Obvod
Ot	n/min	Otáčky za minutu
P	W	Výkon
R	$\Omega$	Rezistivita
t	s	Čas
T	s	Perioda
U	V	Napětí
$\alpha, \beta$	$^{\circ}$	Úhel

### Použité zkratky

GMe	GM electronics prodejna
H-most	Způsob zapojení spínacích prvků
LED	Svítilná dioda
mg.	Magnetické
MOSFET	Druh tranzistoru
PWM	Pulsní šířková modulace
SS, DC	Stejnoseměrný
ZTS	Závody těžkého strojířtva

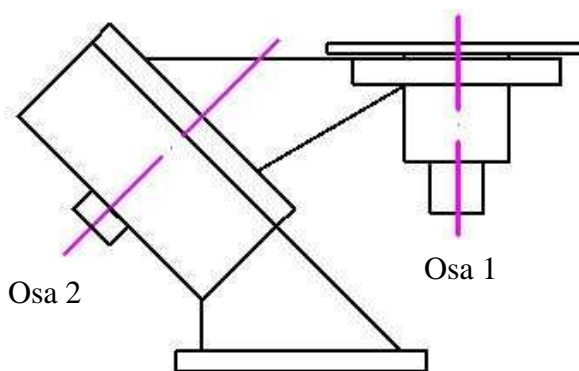
## 1 Úvod

Cílem této bakalářské práce je uvést do provozu nefunkční polohovadla firmy ZTS. Tyto polohovadla byly součástí pracoviště s roboty typu OJ od firmy ZTS. Toto pracoviště však bylo zrušeno a nahrazeno moderními roboty IRB140 od firmy ABB. Pro polohovadla jsem vyrobil nový řídicí systém, který jsem spojil s řídicím systémem nových robotů.

Polohovadlo je možné ovládat ve dvou osách, obě jsou rotační.

Polohovadlo se skládá ze dvou stejnosměrných motorů s následujícími parametry:

- Výkon: 750W
- Napětí 64V
- Proud 16A
- Otáčky: 3000 ot/min-1
- Brzda 24V, 2A



Obr. 1.1 – Osa rotace

Motory jsou bez jakékoliv dokumentace, při zadání bakalářské práce bylo polohovadlo nefunkční. Motor, který mi byl poskytnut na prvotní testování a ladění v laboratoři není zcela totožný jako motor použitý na polohovadle, avšak rozdíly jsou nepodstatné pro navržené řešení. Motory jsou také vybaveny brzdou, ta však neslouží k brzdění motoru za běhu, ale pouze k zajištění polohy již zastaveného motoru.



Obr. 1.2 – Polohovadlo ZTS

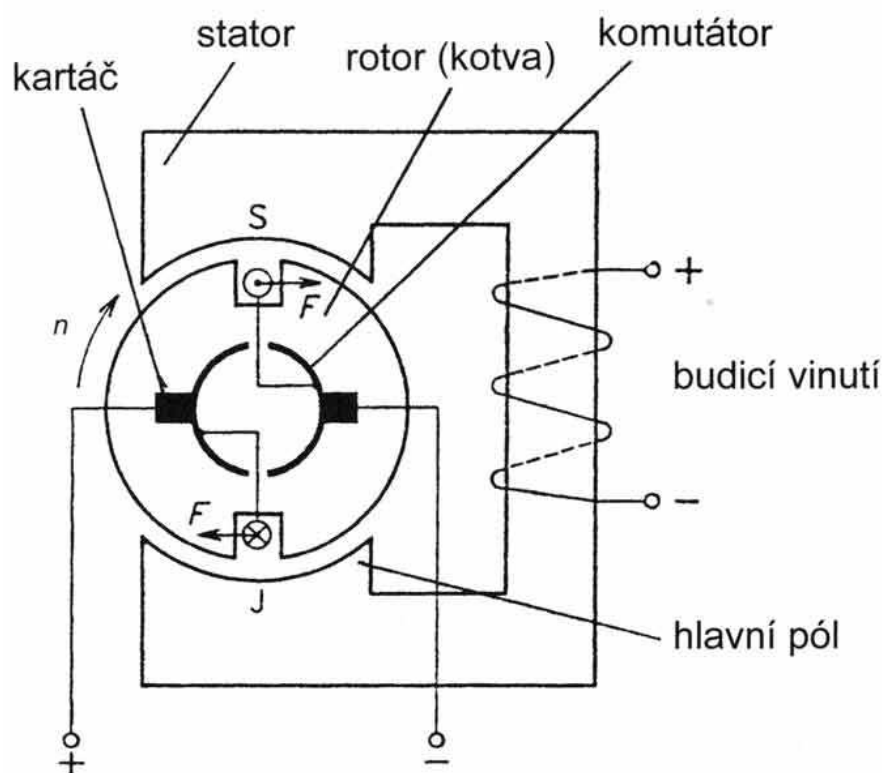


## 2 Řízení stejnosměrného motoru

### 2.1 Princip funkce stejnosměrného motoru

Stejnosměrný motor se skládá ze statoru tvořeného permanentním magnetem, nebo elektromagnetem. Další důležitou částí je rotor, tvořený cívkou, kterou protéká proud. Tento rotor je umístěn mezi severním a jižním pólem magnetu. Mezi severním a jižním pólem magnetu se vytváří magnetické pole. Pokud se v tomto mg. poli nachází vodič protékaný proudem, je vytlačován Lorentzovou silou  $F$ , která je kolmá na směr magnetických siločár i na směr protékaného proudu. Směr síly určíme pomocí pravidla levé ruky, kdy vložíme levou ruku do magnetického pole tak, aby nám siločáry vstupovaly do dlaně a prsty ukazovaly směr proudu. Proud procházející průřezem vodiče směrem od vás je označen křížkem, k vám tečkou, pak nám palec ukazuje směr síly, kterou je vodič vytlačován z magnetického pole.

Protože na druhé straně rotoru je směr proudu opačný, vzniká dvojice sil vytvářející kroutící moment. Protože by po otočení rotoru o  $180^\circ$  došlo ke změně směru působení sil, je rotor vybaven komutátorem, který změní směr proudu procházejícího cívkou. Další informace o stejnosměrném motoru najdete pod odkazy č. 7 a 8 v kapitole použitá literatura.

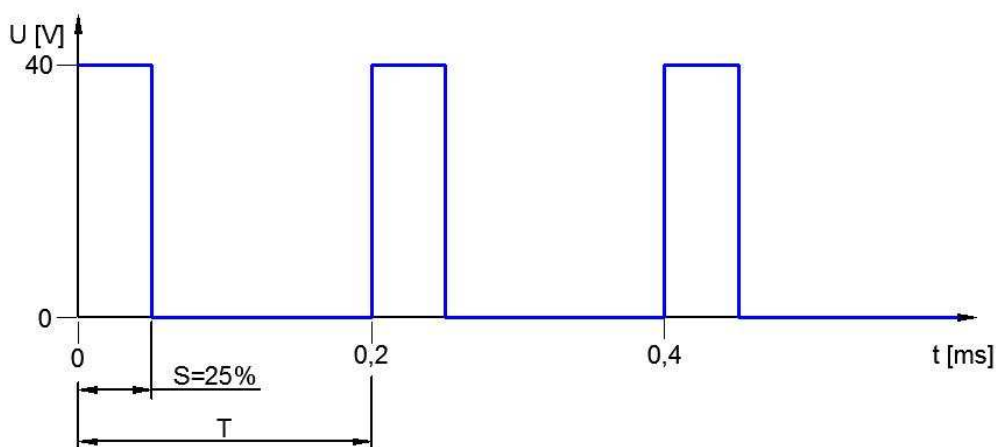


Obr. 2.1 – Funkce stejnosměrného motoru

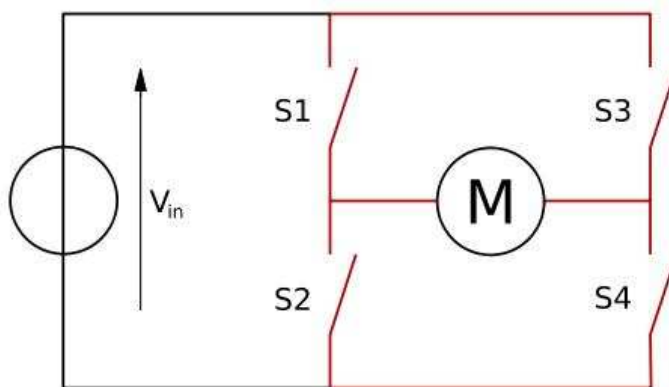
## 2.2 Regulace otáček motoru

Rychlost otáčení stejnosměrného motoru se reguluje změnou velikosti napájecího napětí. Pro snižování napětí lze použít nastavitelný dělič napětí, tato metoda je však nevhodná z důvodu velké ztráty energie. Z tohoto důvodu se používá řízení pomocí pulzně šířkové modulace (PWM z anglického pulse width modulation).

Nejdříve se určí frekvence signálu PWM, ta se mění podle typu a velikosti motoru v rozmezí od několika KHz až po několik desítek KHz. Velikost napájecího napětí je stále stejná, mění se tzv. střída  $S$  v době jedné periody  $T$ . Střída  $S$  je poměr mezi dobou kdy je napájení sepnuto, a kdy vypnuto. Pro vysvětlení funkce uvažujme s frekvencí 5 KHz. Při této frekvenci je doba jedné periody  $T=0,2\text{ms}$ . Pokud chci dosáhnou střídy 25% tak napájecí napětí sepnou na 0,05s a po zbytek periody  $T$  ho nechám vypnuté. S použitím takto vyrobeného signálu dosáhnou požadovaného napětí na motoru bez velkých ztrát.



Obr. 2.2 –PWM signál pro 25% výkonu



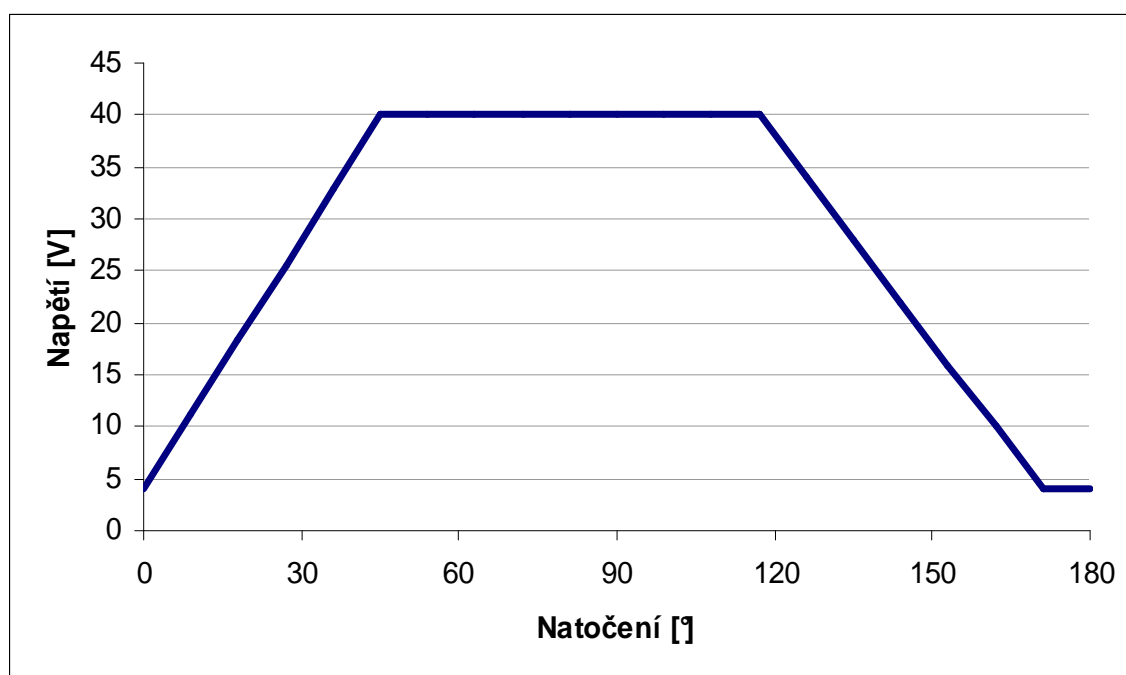
Obr. 2.3 –Zapojení H-most

### 2.3 Změna směru otáčení motoru

Změna směru otáčení stejnosměrného motoru se provede změnou polaritu napájecího napětí. K tomu slouží zapojení tranzistorů (nebo jiných spínacích prvků) zvané H-most. Funkce spočívá ve spínání kontaktů S1 a S4 pro jeden směr otáčení a kontaktů S2 a S3 pro druhý směr otáčení ( obr. 2.3 ).

### 2.4 Zvolený způsob řízení motoru

Stejnosemřný motor je řízen pomocí zpětné vazby. Pomocí informace o aktuálním natočení polohovadla regulují velikost vstupního napětí do motoru. Požadovanou dráhu rozdělím na 4 části. Motor nejprve konstantně zrychlí na maximální otáčky, polohovadlo se poté otáčí maximální rychlostí. Další částí je postupné brzdění motoru a nakonec následuje dojezd na přesnou pozici. Tento dojezd se provádí co nejmenší možnou rychlostí, aby se dosáhlo co nejpřesnějšího zastavení v požadovaném natočení bez zbytečných překmitů a vracení se.

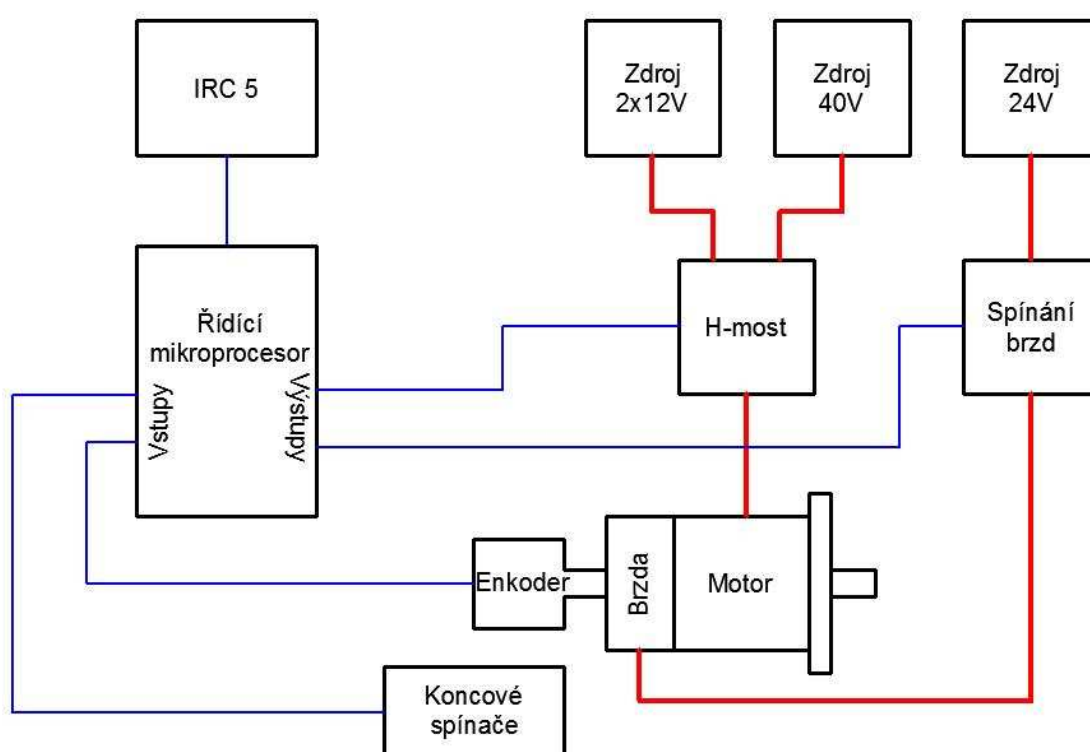


*Obr. 2.4 – průběh napětí na motoru v závislosti na natočení polohovadla*

Modul pro řízení stejnosměrného motoru se skládá z řídicího mikroprocesoru, výkonové spínací části, enkoderu, koncových snímačů, a zdrojů. Mikroprocesor má na starost ovládání prvků, které spínají silnoproudou část obvodu. Také vyhodnocuje všechny vstupní signály a komunikuje s řídicím systémem IRC-5 pomocí rozhraní RS 232. H-most

spíná napájecí napětí motoru podle signálu PWM a také podle směru otáčení. Před každým pohybem je motor odbrzděn. Polohovadlo je vybaveno koncovými spínači pro nastavení nulové polohy a na druhé ose také pro zastavení motorů v případě dojezdu k mechanickému dorazu.

Na obrázku 2.5 je zjednodušené blokové schéma řídicího modulu. Zjednodušení spočívá v zapojení pouze motoru jedné osy. Oba motory sdílí všechny zdroje a řídí je jeden mikroprocesor. Modré spoje znázorňují signálové vodiče, červené čáry představují výkonové vodiče.



*Obr. 2.5 – Zjednodušené blokové schéma*

### 3 Enkoder

#### 3.1 Přesnost polohování – počet impulsů

Pro přesné zastavení polohovadla je velmi důležité přesně znát natočení rotoru motoru. Stanovená přesnost je  $\varepsilon=0,1\text{mm}$  na obvodu stolu polohovadla pro osu 1. Polohovadlo je osazeno harmonickou převodovkou s poměrem  $i=200$ . Průměr stolu polohovadla je  $d=500\text{mm}$ . Výpočtem určíme potřebný počet impulsů enkoderu na jednu otočku motoru.

Výpočet obvodu stolu:

$$o = \pi \cdot d = \pi \cdot 500 = 1570,8\text{mm}$$

Výpočet úhlu  $\alpha$  reprezentující délku 0,1 mm na obvodu stolu

$$\alpha = \frac{360 \cdot \varepsilon}{o} = \frac{360 \cdot 0,1}{1570,8} = 0,0229^\circ$$

Výpočet úhlu  $\beta$ , který znamená úhel natočení zvětšený převodovým poměrem  $i$

$$\beta = i \cdot \alpha = 200 \cdot 0,0229 = 4,58^\circ$$

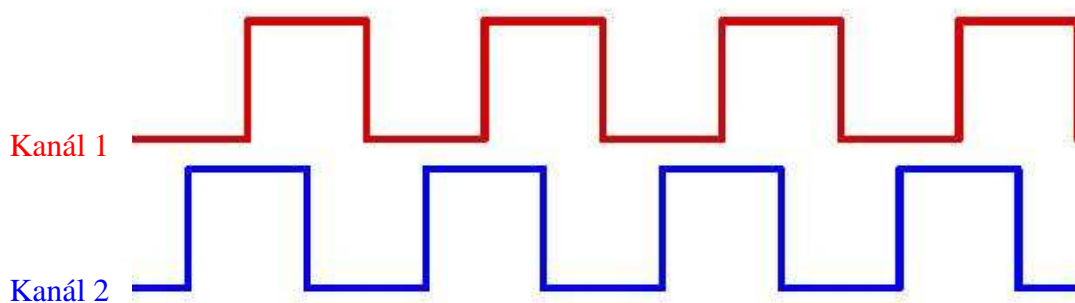
Výpočet počtu impulsů na jednu otáčku

$$n = \frac{360}{\beta} = \frac{360}{4,58} = 78,6 \cong 80$$

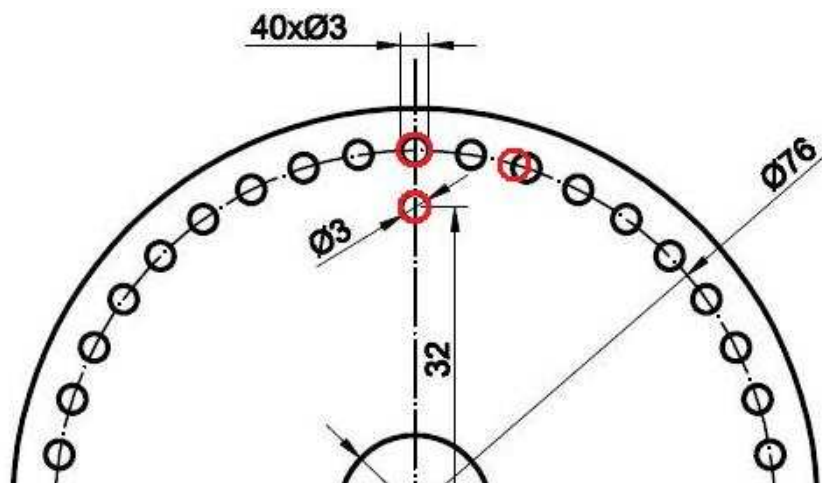
Na základě výpočtu byl navržen a zkonstruován enkoder se 40 dírkami. 80 impulsů získám tím, že za přerušení považuji jak sestupnou, tak náběžnou hranu signálu.

#### 3.2 Kolečko enkoderu

Vyrobený enkoder má vnější průměr 85mm. Na roztečném průměru 76mm je umístěno 40 děr o průměru 3mm. Na roztečném průměru 32mm se nachází jedna díрка pro nastavení nulové polohy. Na obrázku 3.2 je červenými kolečky znázorněno umístění infračervených diod a tranzistorů pro získání dvou výstupních signálů (tvar signálů na obrázku 3.1) obdélníkového tvaru a jednoho signálu pro nulovou polohu.



Obr. 3.1 – Ideální výstupní signál enkoderu



Obr. 3.2 – Umístění diod a tranzistorů

### 3.3 Použitá optická závora

Optická závora byla vytvořena z infračervené diody a infračerveného fototranzistoru.

Fototranzistor L-53P3BT – Jedním z nejdůležitějších parametrů je doba náběhu po přijetí světelného paprsku a doba vypnutí při jeho ztrátě. Tento tranzistor několikrát překračuje požadavky na rychlost sepnutí a vypnutí v této aplikaci. Důležité také je dodržet podmínky, při kterých tyto vlastnosti výrobce garantuje. Další výhodou použití tohoto fototranzistoru je jeho cena, která činí 7,40 Kč v prodejně GMe.

Max napětí $U_{C-E}$	30V
Max napětí $U_{E-C}$	5V
Ztráta výkonu $P_z$	0,1W
Doba sepnutí $t_s$	3us
Doba vypnutí $t_v$	3us

Tab. 3.1 –Hlavní parametry fototranzistoru



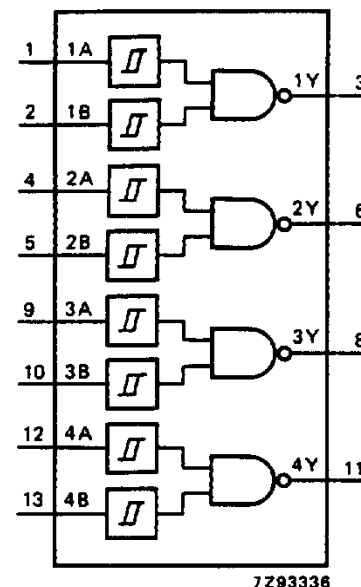
Obr. 3.3- Fototranzistor

Fotodioda L-53FB3T – Je plně kompatibilní s tranzistorem, doporučený proud je 50mA, její cena je 6,50 Kč v prodejně GMe.

Další informace naleznete v datasheetech výrobku, odkaz najdete v kapitole použitá literatura pod čísly [5] a [6].

### 3.4 Obvod pro úpravu signálu

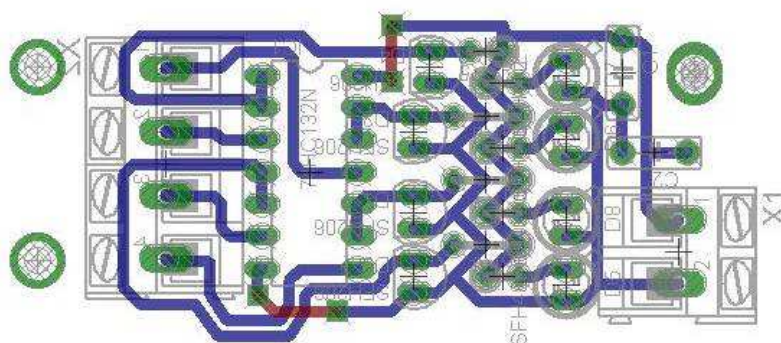
Protože přechodový jev při přechodu tranzistoru z otevřeného stavu do zavřeného je plynulý, okolní rušení způsobuje záškuby na hraně logických úrovní. Tím se na vstup mikroprocesoru dostávají falešné informace o počtu impulzů. Tento problém jsem vyřešil přidáním integrovaného obvodu 74 132, tento obvod obsahuje 8 Schmittových klopných obvodů. Schmittův klopný obvod je připojen na výstupní signál z fototranzistorů. Výstup Schmittova klopného obvodu je překlápen s malou hysterezí vůči vstupu, tím nedojde k zakmitání na mezní hodnotě. V tomto zapojení se jeden vstupní signál připojuje na dva klopné obvody, protože ty, jsou uvnitř svedeny na jeden výstup pomocí hradla NAND. Je tedy nutné počítat s tím, že výstup



Obr. 3.4 – Funkční schéma IO

tohoto integrovaného obvodu je opačný, než hodnota na vstupu logického obvodu. Přechodové charakteristiky a další informace k tomuto obvodu najdete v datasheetu obvodu. Odkaz se nalézá v kapitole použitá literatura pod číslem 4.

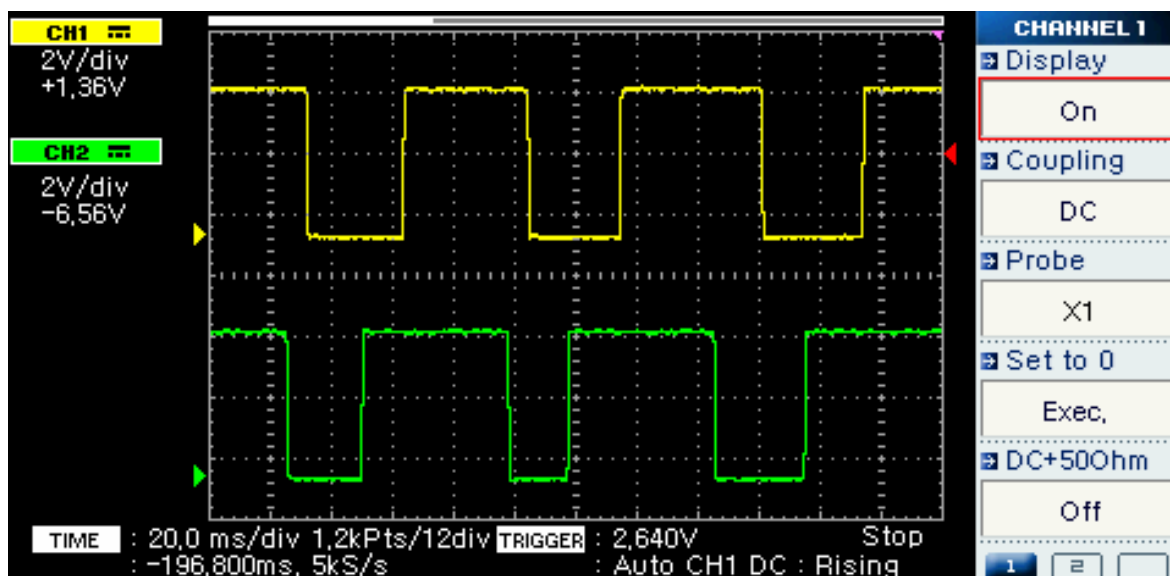
Protože datové vodiče první osy otáčení jsou v těsné blízkosti se silovými vodiči, dochází i přes použití tohoto obvodu k přeslechům na vedení. Tento problém nelze řešit použitím druhého obvodu 74132 na vstupu do mikroprocesoru, protože se signál zdeformuje. Tento problém řeší keramické kondenzátory o kapacitě 220pF. Pro úpravu jednoho signálu jsou použity dva. První je zapojen proti napětí 5V k signálnímu vodiči. Druhý je zapojen k signálnímu vodiči a k nulovému potenciálu napájení. Při přeslechu na signálním vodiči dochází k pomalé změně napětí na kondenzátorech, tím se stabilizuje úroveň signálu. Zapojení kondenzátorů je realizováno na plošném spoji těsně před mikroprocesorem.



Obr. 3.5 – Zvětšená deska plošného spoje

### 3.5 Ladění enkoderu

Protože použitý enkoder je vlastní výroby, jeho uvedení do provozu je díky malým rozměrům dírek, výrobním nepřesnostem a odrazů infračerveného záření složitější než u enkoderu kupovaných. V této kapitole se pokusím popsat montáž a odladění enkoderu.

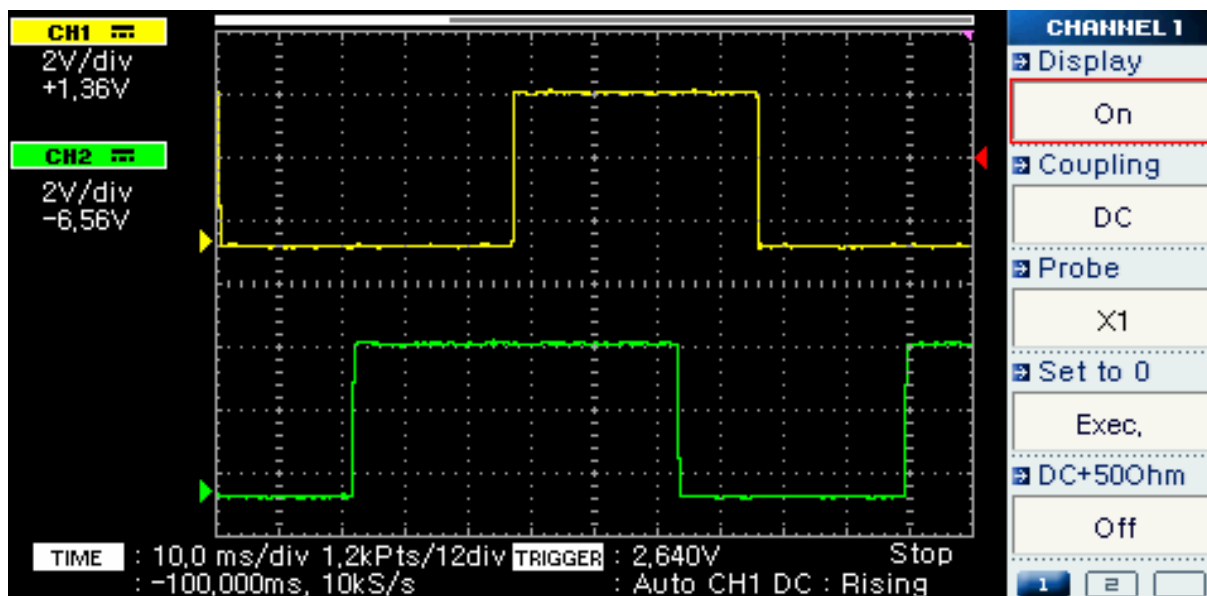


Obr. 3.6 – Špatný výstupní signál enkoderu

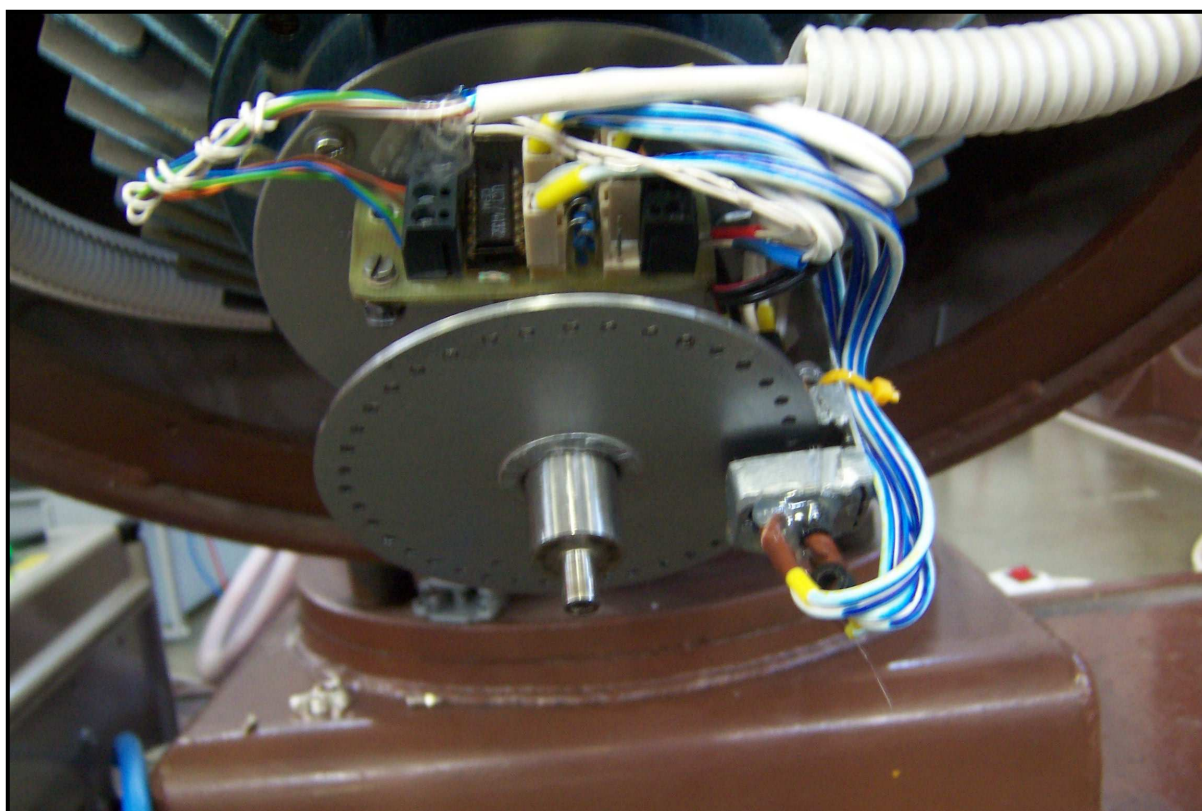
- 1) Na zadní víko namontujeme desku plošného spoje. Použijeme plastové izolační podložky pro zamezení zkratování obvodu.
- 2) Do dírek na zadní straně držáku nalepíme infračervené diody.
- 3) Držák přišroubujeme na zadní víko, šrouby nedotahujeme, necháme je volné.
- 4) Zadní víko s držákem namontujeme na zadní stranu motoru, na hřídel nasuneme kolečko enkoderu a nasuneme ho do mezery mezi diodami a dírami pro tranzistory.
- 5) Šrouby spojující držák a zadní víko dotahujeme a zároveň nastavujeme polohu držáku tak, aby dírky v něm byly v ose s dírkami na kolečku enkoderu (podle Obr.3.1). Utáhneme pojistný šroub kolečka enkoderu.
- 6) Na konektory v desce plošných spojů připojíme diody i tranzistory, tranzistory vsuneme do děr v držáku, prozatím je nelepíme.
- 7) Použijeme osciloskop, rukou otáčíme s kolečkem enkoderu (motor musí být odbrzděný) a sledujeme výstupní signál (analyzujeme pomocí funkce Run/Stop), pokud není dostatečně kvalitní (ideální signál na obr. 3.2) upravujeme pozici držáku vůči dírkám. Pokud nepomáhá úprava pozice držáku nasadíme na tranzistory směršťovací bužírku, tím zúžíme přístup infračerveného záření k tranzistoru.



8) Po odladění signálu tranzistory opatrně přilepíme.



*Obr. 3.7 – Dostatečně dobrý výstupní signál z enkoderu*



*Obr. 3.8 – Hotový enkoder*

## 4 Nulové polohy a koncové dorazy

Enkoder je opatřen jednou dírkou pro přesné nastavení nulové (synchronizační) polohy (Obr. 3.1). Tento jeden signál však k přesnému nastavení nulové polohy nestačí, protože převodový poměr mezi motorem a upínacím stolem je 200:1 a tím pádem získám 200 impulsů tohoto nulového signálu za jedno otočení upínacího stolu. Z tohoto důvodu je důležité umístit na tento polohovací stůl také nějaké čidlo o aktuální poloze.

Číslo nulové polohy na ose 1 je jediné čidlo polohy, které jsem z původního řešení polohovadla použil. Otáčecí upínací stůl je ze spodní části opatřen magnetem. Tento magnet spíná jazýčkové magnetické relé umístěné na konstrukci polohovadla. Tento magnetický snímač má však spoustu nevýhod, hlavní je špatná nastavitelnost a velká hystereze. Nastavení tohoto snímače se realizuje podkládáním magnetu tenkými proužky plechu, tím se magnet přiblíží a relé spíná dříve, hystereze je podstatně menší, ale zvětší se dráha upínacího stolu, po kterou je relé sepnuto, na více než 2 otáčky. Tím se stává toto nastavení nepoužitelné. Pokud je magnet umístěn dál od magnetického jazýčkového relé, zkrátí se dráha připadající na sepnutý stav, avšak zvětší se hystereze. Pokus magnet zkrátit a přimontovat blíže k jazýčkovému relé, kromě zničeného plátku v pilce na železo ( při řezání jsem se řídil heslem: Nejde znamená nechci nebo neumím) a času promarněným snahou vyladit snímač, nepřinesl tento pokus valný výsledek, protože jazýčkové relé se při vyšších otáčkách nestihlo sepnout. Tento původní snímač jsem použil jen proto, že konstrukce polohovadla mi nedovolila použít jednoduchý optický snímač.

Druhá osa je vybavena mechanickým dorazem, což mi znemožnilo realizovat můj původní záměr, aby se polohovadlo na této ose dokázalo otočit o více jak 360°, který jsem měl dovedený k dokonalosti a na mechanické dorazy jsem přišel až při montáži koncových spínačů. Jako koncový spínač a spínač nulové polohy jsem použil mikrospínač s rolnou.

Spínače jsou umístěny na boční části polohovadla. Spínače nulové polohy jsou umístěny těsně na konstrukci polohovadla a jsou spínány dlouhým jazýčkem (z důvodu setrvačnosti sroje), umístěným na boční části polohovadla. Zastavení motoru osy 2 v případě sepnutí těchto spínačů je řešeno pomocí programu. Protože použití tohoto dlouhého jazýčku je nevhodné pro spínání nulové polohy, je tento snímač ve větší vzdálenosti od konstrukce polohovadla a jazýček, který ho spíná je podstatně užší. Za tímto mikrospínačem je umístěn přepínač pro určení směru otáčení polohovadla při nastavování nulové polohy. Výstupní signály z těchto spínačů jsou opět zpracovávány obvodem 74132 (kapitola 3.4).



*Obr. 4.1 –Přepínač a spínač nulové polohy*



*Obr. 4.2 –Spínač koncové polohy*



## 5 Brzdy

Motor je vybaven brzdou pro zajištění polohy motoru. Brzda pracuje při napětí 24V a proud který jí protéká je 2A.

### 5.1 Volba spínacích tranzistorů

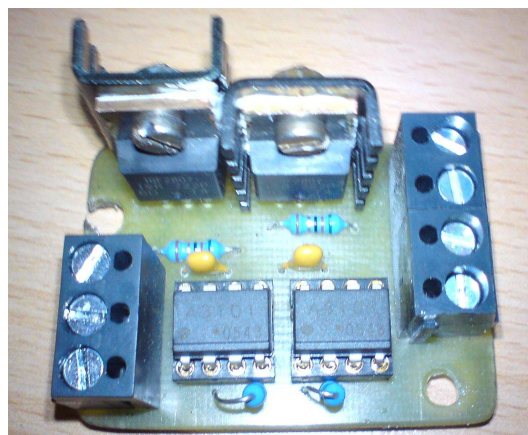
Pro ovládání brzdy jsem vybral tranzistor IRF 2807 spínaný obvodem HCPL-3101. Je to stejný tranzistor, jaký je používán v obvodech H-mostu. Tento tranzistor se může zdát jako zbytečně předdimenzovaný. Použití HCPL-3101 je nutné pro galvanické oddělení silové části obvodu od mikroprocesoru. Toto oddělení je realizováno uvnitř obvodu pomocí optočlenu. Pokud by tyto dvě části nebyly odděleny, riskujeme zničení mikroprocesoru. Volbu tranzistoru lze oddůvodnit mnoha způsoby. Pokud bychom použili tranzistor určený pro provoz, riskovali bychom jeho přehřátí, protože brzda je sepnuta po celou dobu manipulace s polohovadlem, což může být u náročnějších aplikací velmi dlouho. Ovšem i z tohoto důvodu se může zdát tranzistor jako předdimenzovaný. Právý důvod použití tohoto tranzistoru spočívá v ovládání tohoto tranzistoru napětím 12V. Tím není spínací obvod tranzistoru připojen na stabilizátor napětí 5V, který nemá dostatečnou proudovou kapacitu a co je hlavní, je na něj připojeno napájení mikroprocesoru.

### 5.2 Schéma zapojení a plošný spoj spínače.

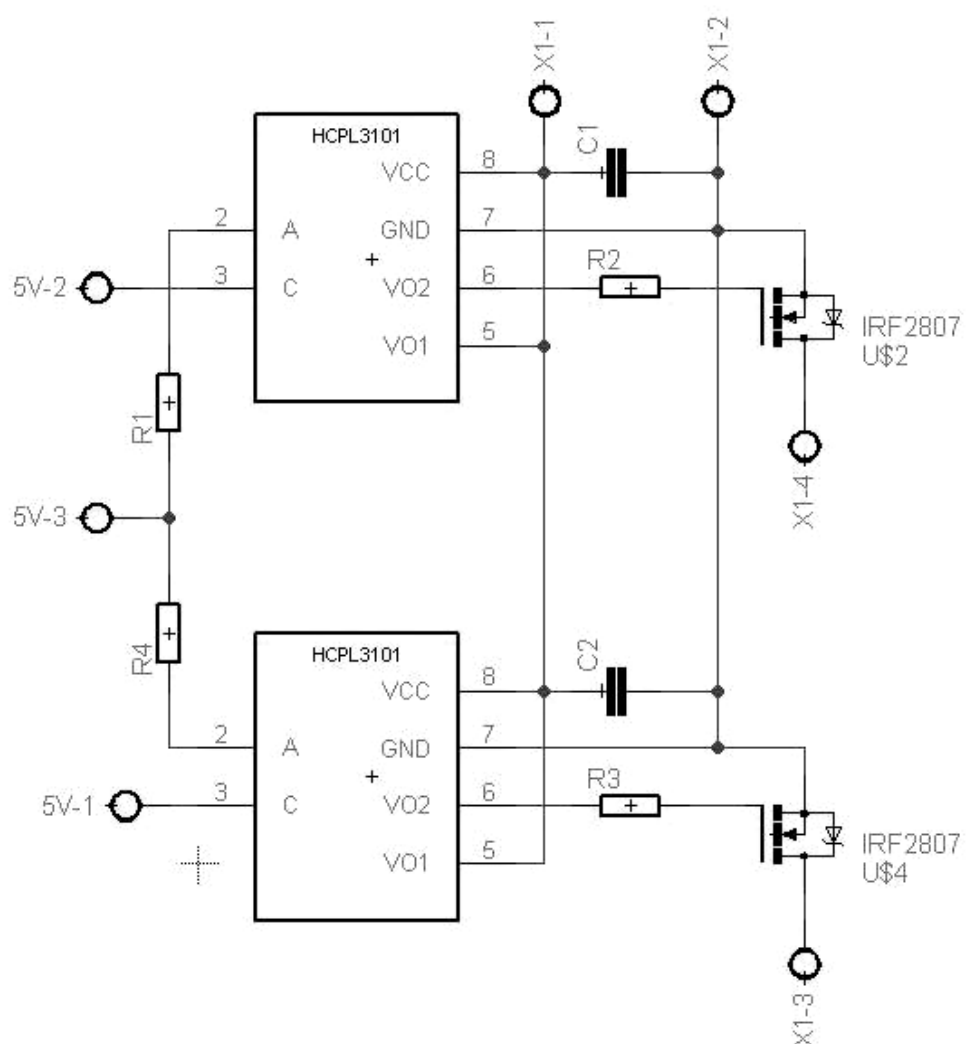
Na jednom plošném spoji jsou obvody pro řízení brzd na obou motorech.

Na svorku 5V-3 se připojuje +5V, Svorky 5V-1 a 5V-2 jsou logické signály vycházející z mikroprocesoru. Na svorku X1-1 se připojuje -12V, X1-2 GND, svorky X1-3 a X1-4 jsou výstupy na které se připojují brzdy. Brzdy jsou spínány proti GND, to znamená že druhý vodič brzdy se musí připojit na -12V. Další informace o použitých obvodech najdete v datasheetech výrobce. Odkaz najdete v kapitole použitá literatura pod čísly [2] a [3].

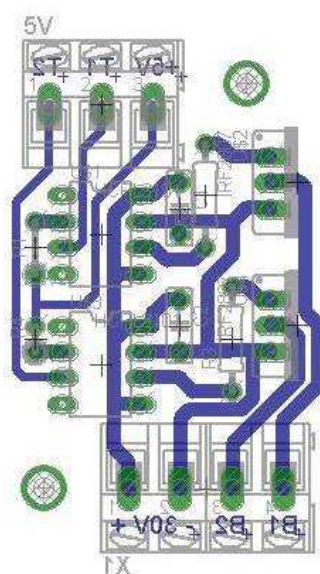
Schéma zapojení a také desku plošného spoje v programu Eagle najdete na příloženém CD.



*Obr. 5.1 – hotový obvod pro spínání brzdy*



Obr. 5.2 – Schéma zapojení obvodu pro spínání brzdy



Obr. 5.3 – Plošný spoj obvodu pro spínání brzdy

## 6 H-most

Základní funkce H-mostu byla popsána v kapitole 3.3. Pro řízení motorů polohovadla byl H-most navržen, důvodů proč takovýto H-most nekupovat bylo hned několik. Nejdůležitějším důvodem je samozřejmě splnění zadání bakalářské práce, dalším důvodem je cena kupovaných modulů. Vlastní konstrukcí se dostanu na cenu neporovnatelně nižší, než u nabízených produktů. Jednou z velkých výhod je také možnost jednoduché opravy H-mostu v případě jeho poškození, což by u kupovaných modulů bylo velmi složité, spíše nemožné, nemluvě o ztrátě záruky. Nejdůležitějšími částmi H mostu jsou tranzistory a jejich budiče.

### 6.1 Nároky na H-most

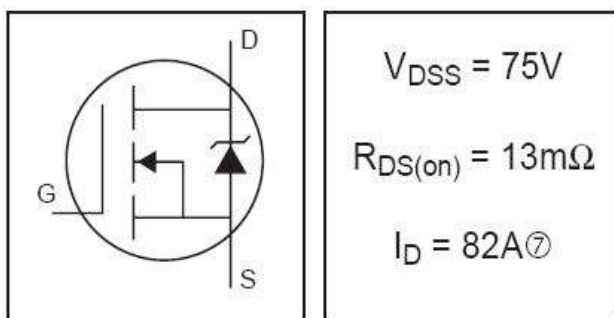
Motory a způsob řízení kladou tyto požadavky na navrhovaný H-most

- Minimální spínané napětí 64 V
- Minimální jmenovitý proud 16 A
- Frekvence spínání minimálně 1 KHz
- Proud ve špičce minimálně 25A

### 6.2 Zvolené tranzistory

Jedním z nejdůležitějších aspektů při výběru tranzistorů byla samozřejmě jejich dostupnost. Při pohledu na nabídku od společnosti GMe lze usoudit, že volba tranzistorů nebude až tak složitá, protože skladem dostupných tranzistorů s odpovídajícími vlastnostmi není zrovna mnoho. Další nevýhodou je, že tranzistory s odpovídajícími vlastnostmi nejsou zrovna nejběžněji prodávány součástkami, pokud při návrhu zapojení, nebo ladění řídicího programu uděláte chybu a tranzistory zničíte, stane se vám, že tranzistory již na skladě nejsou a dlouho nebudou. U ostatních dodavatelů samozřejmě tyto tranzistory nevedou, a při pohledu do katalogu vám prodávající řekne, že pro takovéto tranzistory neexistují ekvivalentní typy.

IRF 2807 - Hexfet® Power-MOSFET tranzistor



Velmi rychlý tranzistor s kanálem typu N a s velmi malým vnitřním odporem. V tranzistoru je integrována ochranná dioda, což ho dělá vhodným pro použití spínání indukčních zátěží.

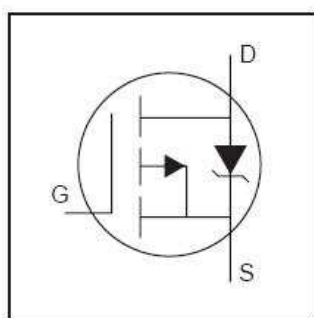
*Obr. 6.1 –Značka a vlastnosti tranzistoru*

Základní vlastnosti tranzistoru:

Max. napětí $U_{D-S}$	75 V
Max. proud $I_D$	82A
Vnitřní odpor $R_{D-S}$ při úplném otevření	13m $\Omega$
Max. řídící napětí $U_{G-S}$	20V
Prodleva před otevřením $t_{d(on)}$	13nS
Doba náběhu $t_r$	64nS
Prodleva před zavřením $t_{d(off)}$	49nS
Doba zavření $t_f$	48nS

Tab. 6.1 –Základní vlastnosti tranzistoru IRF2807

IRF 5210 - Hexfet® Power-MOSFET



$V_{DSS} = -100V$
$R_{DS(on)} = 0.06\Omega$
$I_D = -40A$

Tranzistor s velkou rychlostí spínání. Vnitřní odpor je větší než u IRF2807 ale pořád jde relativně o malou hodnotu. Tranzistor je velmi rychlý s kanálem typu P a má také integrovanou ochranou diodu.

Obr. 6.2 –Značka a vlastnosti tranzistoru

Základní vlastnosti tranzistoru:

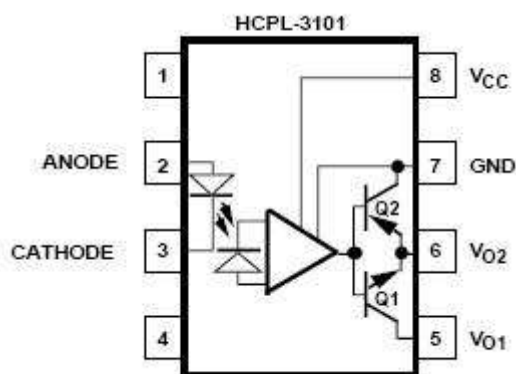
Max. napětí $U_{D-S}$	-100 V
Max. proud $I_D$	-40A
Vnitřní odpor $R_{D-S}$ při úplném otevření	60m $\Omega$
Max. řídící napětí $V_{G-S}$	20V
Prodleva před otevřením $t_{d(on)}$	17nS
Doba náběhu $t_r$	86nS
Prodleva před zavřením $t_{d(off)}$	79nS
Doba zavření $t_f$	81nS

Tab. 6.1 –Základní vlastnosti tranzistoru IRF5210

Uvedené hodnoty jsou vztaženy k určitému pracovnímu bodu tranzistoru. Pro přesnější informace nahlédněte do datasheetu výrobce, odkazy jsou uvedeny v kapitole použitá literatura pod čísly 2 a 10.

### 6.3 Budiče tranzistorů

Pro buzení tranzistorů jsem zvolil obvod HCPL-3101. Tento obvod obsahuje optické oddělení logického obvodu od silnoproudé části. Tento obvod byl speciálně navržen pro řízení výkonových MOSFET a IGBT tranzistorů. Obvod se vyznačuje velkým operačním napětím na výstupu, tím umožňuje spínat výkonové tranzistory bez dalšího mezičlánku. Obvod pracuje na širokém rozsahu napájecího napětí (15-30V). Obvod je chopen sepnout výstupní kapacitu 3000pF za 0,5us.



Ve chvíli kdy vstupní LED svítí, je sepnutý tranzistor Q1, při běžném zapojení je  $V_{O1}$  připojen na  $V_{CC}$ , tím se na výstup  $V_{O2}$  dostává napájecí napětí. Pokud je vstupní LED zhasnutá, je otevřen tranzistor Q2, tím je na  $V_{O2}$  nulový potenciál.

Obr. 6.3 – Vnitřní uspořádání HCPL 3101

Doporučená ochrana vstupů a výstupů je patrná ze schématu zapojení H-mostu, které naleznete v příloze tohoto dokumentu. Velikost ochranného odporu vstupní diody je 240Ω pro napětí 5V. Pro ochranu tranzistorů Q1 a Q2 se doporučuje připojit na výstupní pin VO2 odpor o hodnotě 25-100Ω. Já jsem zvolil velikost odporu 50Ω.

Zajímavostí je, že i přes skutečnost, že výrobce uvádí minimální napájecí napětí 15V, tak obvod pracuje při napětí 12V zcela bez problému.

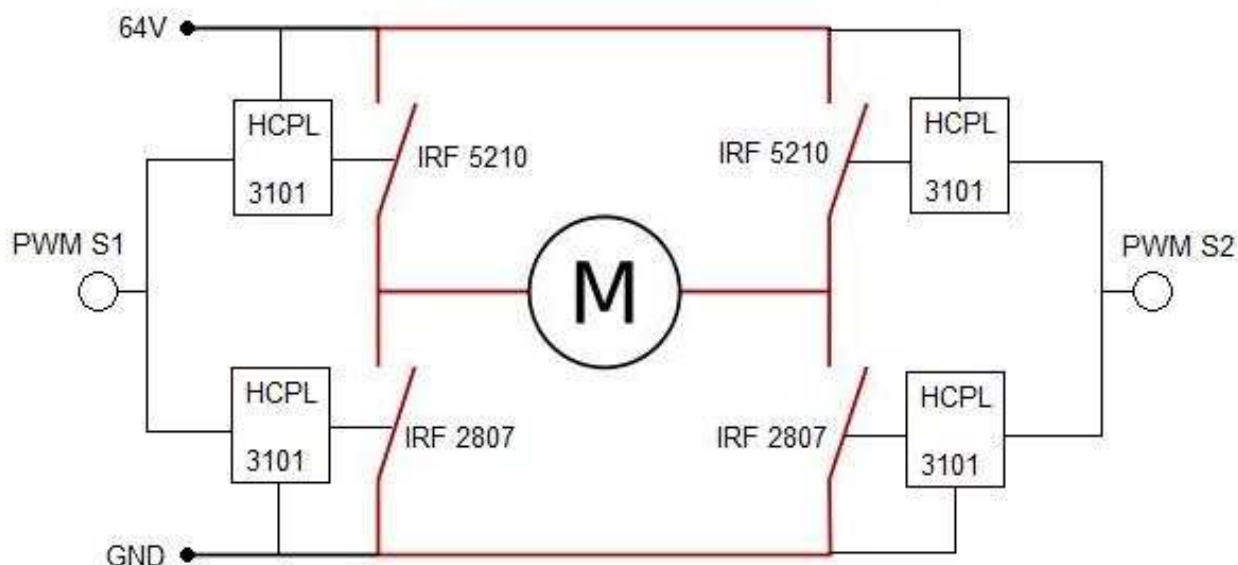
Další zajímavé informace o tomto obvodu najdete v datasheetu výrobce, který je uveden v kapitole použitá literatura pod číslem 2.

### 6.4 Zapojení H-mostu

Zapojení H-mostu se skládá ze dvou tranzistorů IRF 2807 a dvou tranzistorů IRF 5210. Každý z těchto tranzistorů je buzen jedním obvodem HCPL 3101, tyto obvody jsou napájeny 12V. Tranzistory IFR 2807 jsou spínány napětím 12V proti zemi. Tranzistory IRF 5210 jsou spínány napětím -12V proti napájecímu napětí motorů. Z toho vyplývá, že oba tyto 12V zdroje musí být od sebe oddělené. Pro vysvětlení funkce použiji zjednodušené, blokové schéma zapojení H-mostu na obr. 6.4. V klidovém stavu jsou tranzistory IRF 5210 sepnuty a IRF 2807 rozepnuty. V momentě příchodu impulsu PWM



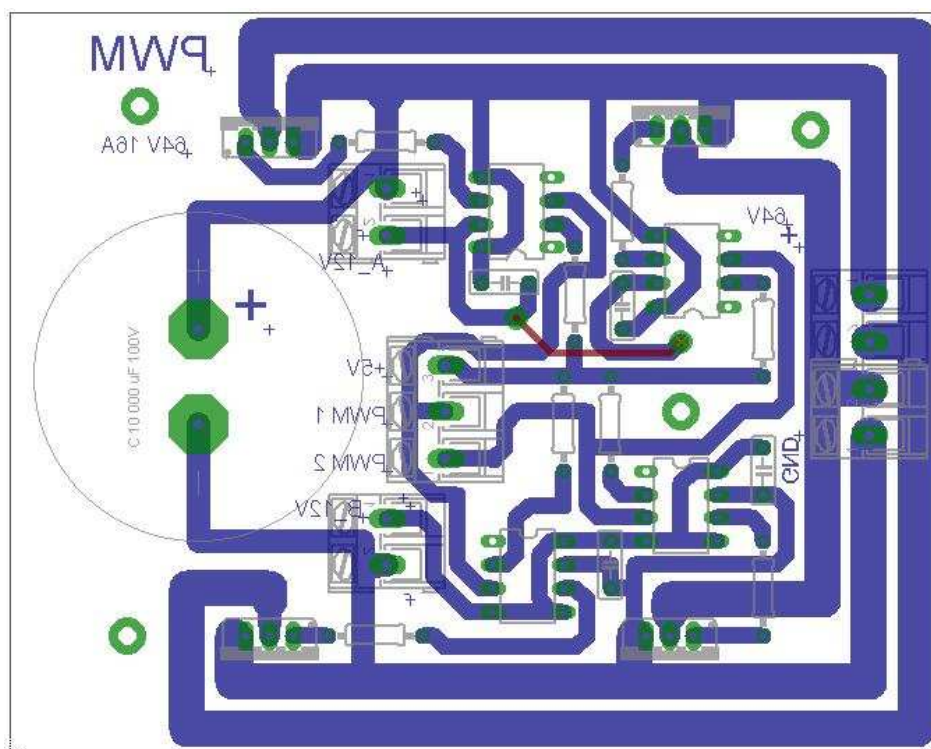
S1 se rozezne IRF 5210 a sepne IRF 2807. Proud teče přes sousední tranzistor IRF 5210, který zůstal otevřený, pak přes motor a poté tranzistor IRF 2807.



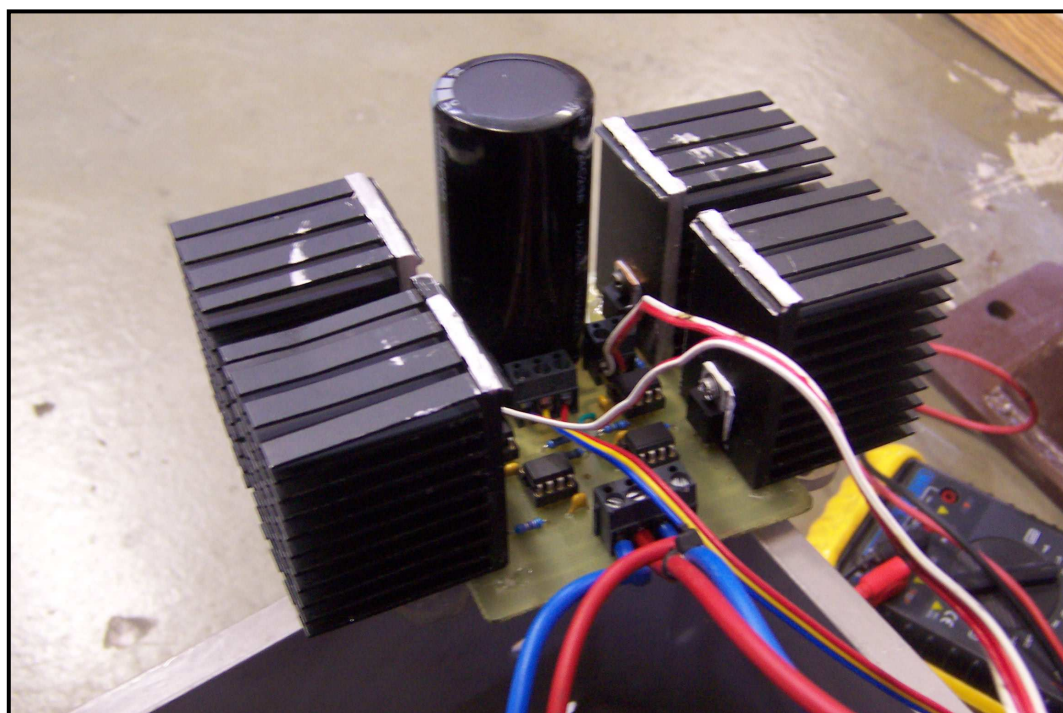
*Obr. 6.5 –Blokové schéma zapojení H-mostu*

Zapojení také obsahuje kondenzátor, který slouží k rychlému vyrovnávání napájecího napětí. Konektory pro připojení potřebných vodičů a další součástky potřebné k chodu obvodu. Pro spínané proudy kolem 16A prakticky nelze na plošném spoji udělat dost širokou cestu, proto jsem tyto vodivé cesty popájel souvislou vrstvou cínu. Plošný spoj byl navržen tak, že obsahuje jen jeden horní propoj. Při pájení tranzistorů je nutné dbát zvýšené opatrnosti, protože může snadno dojít k propojení cest mezi nožkami tranzistoru. Tranzistory jsou opatřeny velkými chladiči. Tyto chladiče zároveň slouží k upevnění celého H-mostu do rozvaděče. Z konstrukčních důvodů jsem zvolil prohození konektorů mezi napájením a výstupem pro motor. Kabely pro motor je připojují na prostřední svorky silové svorkovnice, kontakty pro 64V a GND jsou označeny na desce plošného spoje. Také při zapojování 12V na svorky je třeba sledovat polaritu naznačenou na desce plošného spoje, při zaměnění by mohlo dojít i ke zničení obvodu.

Vytištěné schéma zapojení H-mostu najdete v příloze tohoto dokumentu. V CD příloze tohoto dokumentu najdete schéma zapojení a plošný spoj, vypracovaný v programu Eagle, také osazovací plán a další potřebné informace ke konstrukci H-mostu.



*Obr. 6.6 – Plošný spoj H-mostu ze strany součástek*



*Obr. 6.7 – Hotový H-most*

## 7 - Zdrojová část

### 7.1 Zdroj pro napájení stejnosměrných motorů

Stejnosměrné motory použité na polohovadle mají být napájeny napětím 64V. Ovšem spokojit jsem se musel s externím stabilizovaným 230/40V zdrojem. Ke konstrukci a testování funkčnosti polohovadla tento zdroj bohatě postačuje, avšak při použití polohovadla ve výrobě by bylo 40V asi málo. Polohovadlo nedosáhne tak velkých výkonů, aby mohlo zvedat opravdu těžké břemeno. Velkou výhodou tohoto zdroje je velmi velký proudový rozsah (až 40A). Zdroj je regulovatelný, jak v rozsahu výstupního napětí, tak ve velikosti maximálního výstupního proudu.

### 7.2 Zdroj 2x12V a 5V

Potřeba použít 2 na sobě nezávislé zdroje napětí 12V vznikla ze zapojení H-mostu (kapitola 6.5). Pro tento účel jsem koupil toroidní transformátor 230/2x12V, usměrňovače, dva napěťové stabilizátory na 12 V (obvody LM7812) a jeden stabilizátor na 5V (obvod LM7805). Stabilizátor je vybaven elektrolytickými kondenzátory pro úplné vyhlazení výstupního napětí.



*Obr. 7.1 – Zdroj 230/2x12V se stabilizátory*

### 7.3 24V Zdroj pro ovládání brzd

Napětí na ovládání brzd vytváří selenoidní transformátor 230/24V. Usměrněný výstup již není třeba stabilizovat, protože tento zdroj slouží pouze pro napájení brzd, které nejsou nikterak závislé na přesném napájecím napětí.

### 7.4 Spínací relé

Výkonový modul je vybaven dvěma tlačítky, a to start a stop. Tlačítkem start sepnete přídržné relé, tím se sepnou všechny zdroje a polohovadlo může pracovat. Stiskem tlačítka stop, rozepnete napájecí obvod přídržného relé, všechny zdroje jsou odpojeny od napájení a celé polohovadlo se zastaví.

## 8 Mikroprocesor

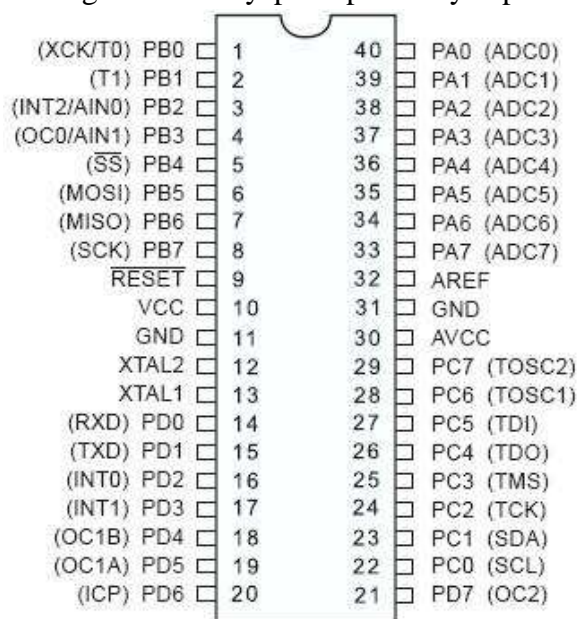
K řízení spínacích obvodů a vyhodnocování informací ze zpětných vazeb používám mikroprocesor Atmel AT Mega16. Jde o 8-bitový mikrokontroler s 16kB velkou programovatelnou flash pamětí. Mikroprocesor je schopný pracovat až na frekvenci 16MHz. Obsahuje 2 8-bitové a jeden 16-bitový čítač/časovač a je schopen generovat až čtyři PWM signály. Je vybaven univerzálním synchronním a asynchronním sériovým přijímačem a vysílačem (USART). K dispozici je až 32 programovatelných vstupů/výstupů. Více informací o samotném mikroprocesoru najdete v datasheetu výrobce. Odkaz najdete v kapitole Použitá literatura pod odkazem číslo [1].

Mikroprocesor je nejdůležitější část řídicího systému. Do mikroprocesoru vstupuje přes rozhraní RS-232 informace o požadovaném natočení a směru otáčení obou os. Mikroprocesor se stará o natočení polohovadla do správné pozice. Pak vrací řídicímu systému IRC-5 informaci o zdárném dokončení požadovaného úkolu. IRC-5 se přímo nepodílí na řízení polohovadla. Mikroprocesor programuji v jazyce AVR Bacsom.

### 8.1 Zapojení a pomocné obvody

Schéma zapojení mikroprocesoru najdete v příloze tohoto dokumentu. Na přiloženém CD najdete zapojení a desku plošných spojů v programu Eagle.

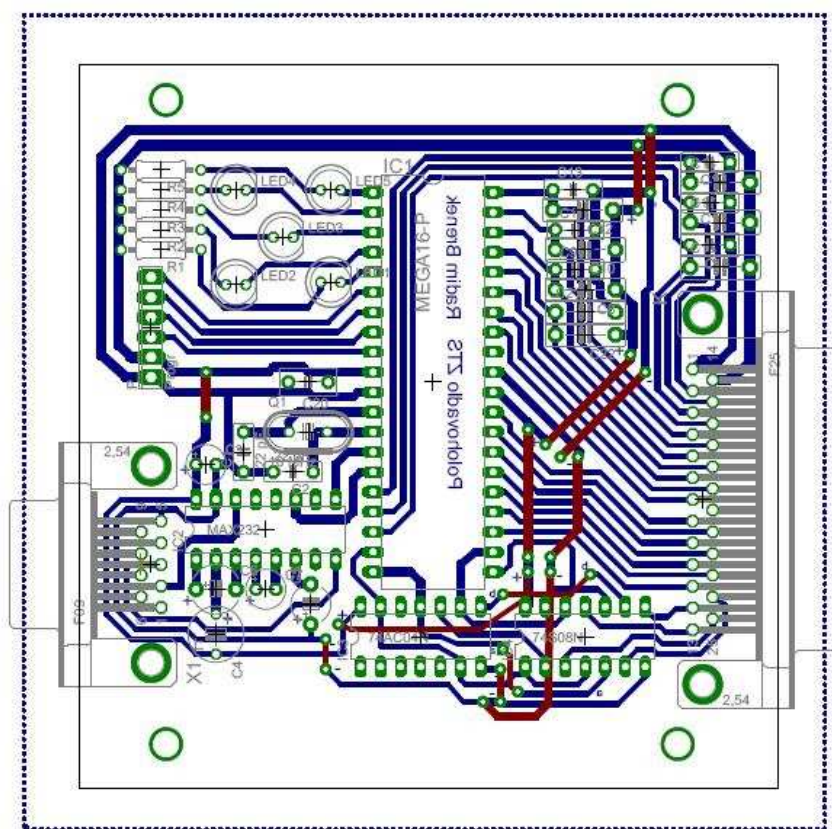
Deska plošných spojů obsahuje samotný mikroprocesor Atmel ATmega16, dále obvod MAX232 a tantalové kondenzátory, potřebné pro jeho správnou funkci. Tento obvod slouží pro úpravu napětí na sériové lince a dva logické obvody pro úpravu výstupního signálu PWM. Konkrétně jde o obvody 7404 a 7408. 9-ti pinový konektor Canon slouží pro připojení rozhraní RS-232. Pro komunikaci s polohovadlem je plošný spoj vybaven 25-pinovým konektorem Canon, ze kterého jsou pak informace rozděleny do dvou kabelů vedoucích ke konektorům na řídicím modulu. Na desce plošných spojů se dále nachází pět odporů a LED diod, které slouží k signalizování stavu procesu polohování. Kondenzátory slouží k filtraci signálů z enkoderu, které jsou rušeny PWM



Obr. 8.1 –Piny mikroprocesoru



signálem. Jedna z nejdůležitějších částí je krystal o frekvenci 16MHz, který slouží jako vnější zdroj časového signálu pro procesor. Procesor sice obsahuje svůj vnitřní oscilátor, ale ten funguje na podstatně nižších frekvencích. Pro správnou funkci krystalu je nutné ke každému jeho vývodu připojit proti zemi malé kondenzátory.

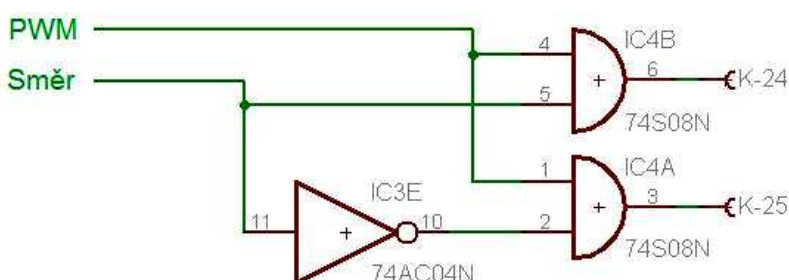


Obr. 8.2 –Plošný spoj mikroprocesoru

## 8.2 Obvody pro úpravu signálu PWM

Pomocí procesoru jsou generovány dva signály PWM, každý pro jednu osu rotace polohovadla. Pro jednu osu otáčení je ovšem potřeba přivádět tento signál buď na jeden, nebo druhý řídicí vstup na H-mostu. Zároveň je vhodné zabezpečit, aby nebyl signál PWM na obou řídicích vstupech H-mostu současně, protože by došlo ke zkratu a zničení H-mostu.

Tento problém řeší použití logického hradla NOT (negace) pro informaci o požadovaném směru. Tím získám dvě, vždy opačné logické informace. Pak stačí každou z těchto

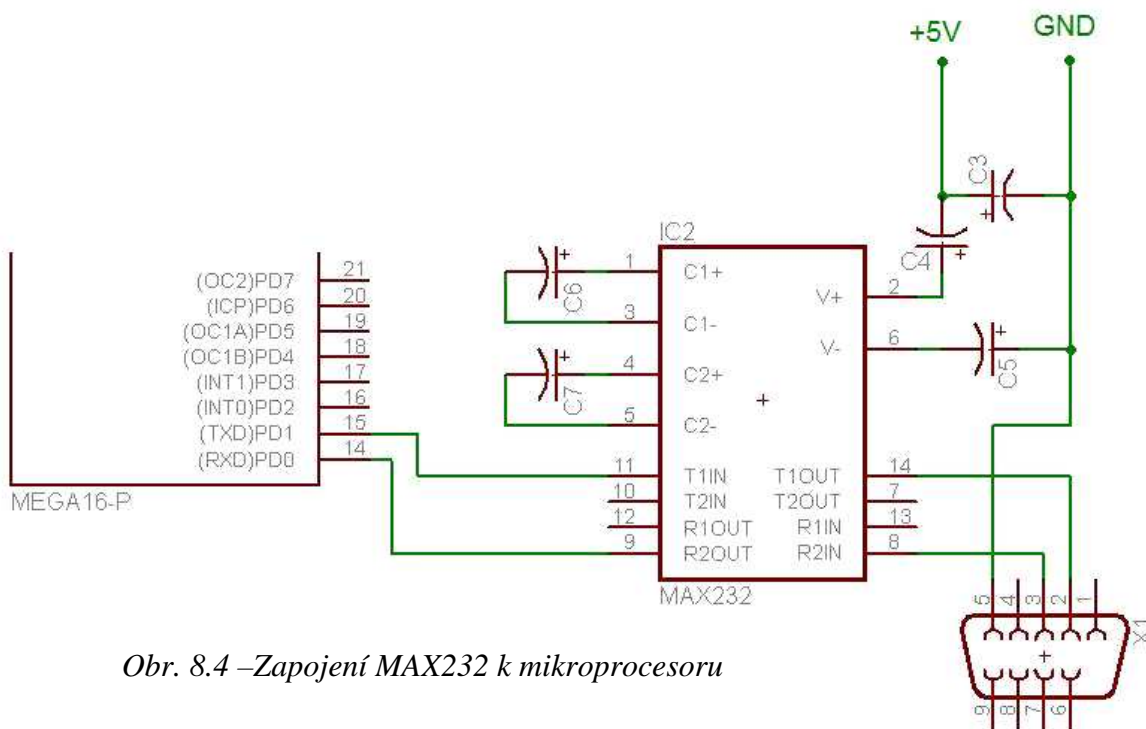


informací přivést na hradlo AND, jehož druhým vstupem je generovaný PWM signál. Názorněji na obrázku vlevo.

Obr. 8.3 –Volba směru

### 8.3 Obvod MAX232

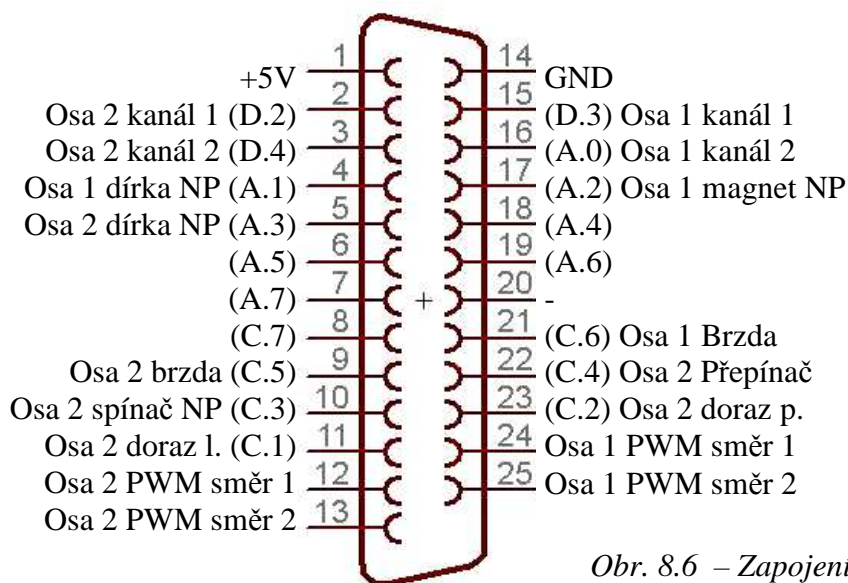
RS-232 komunikuje na napětových úrovních  $\pm 12V$ , což není přímo slučitelné s TT logikou, která funguje na napětové úrovni 5V. Původně se pro změnu napětové úrovně signálu používaly obvody 1488 a 1489. Tyto však potřebovaly napájení  $\pm 12V$  pro vytvoření napětové úrovně pro RS-232. Proto firma MAXIM vyvinula obvod, který konvertuje informace o těchto různých úrovních napětí. Obvod MAX232 nepotřebuje vnější  $\pm 12V$  napájení, potřebné napětí si vyrobí pomocí externích kondenzátorů.



Obr. 8.4 –Zapojení MAX232 k mikroprocesoru

### 8.4 Zapojení konektorů

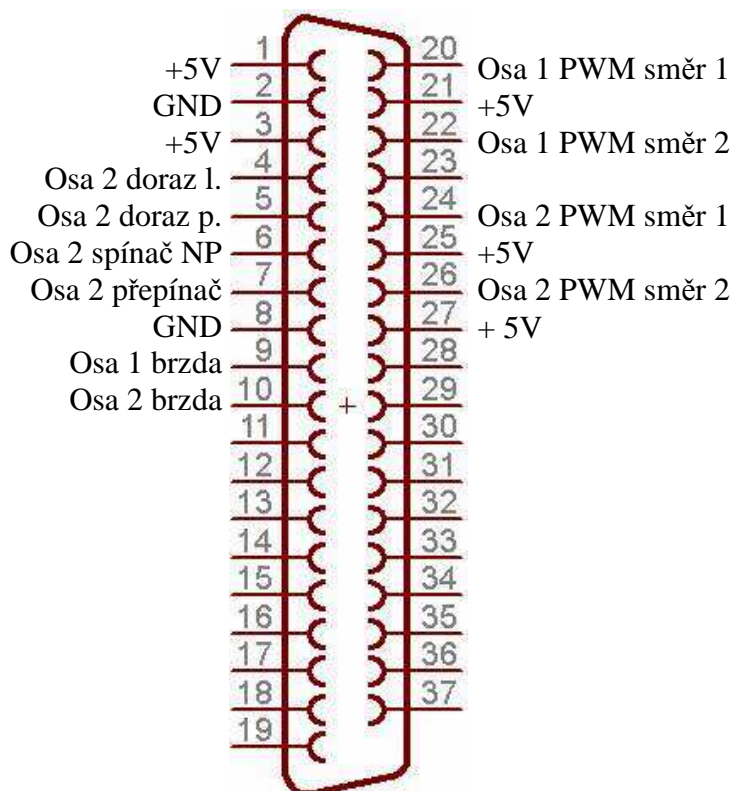
Výstupem mikroprocesoru je 25-ti pinový, dvouřadý konektor Canon D-SUB. Popis kontaktů je myšlen k samci v plošném spoji k čelu konektoru.



Obr. 8.4 – Konektor Canon

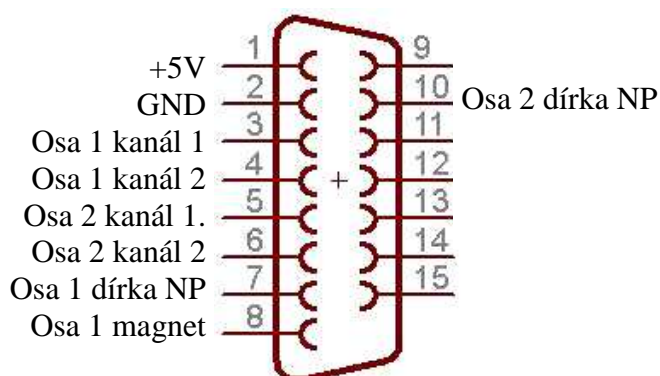
Obr. 8.6 – Zapojení konektoru

Konektor umístěný na rozvaděči je 37 pinový Canon D-SUB. Původně byl tento konektor využit z velké části. Ovšem protože jsem v průběhu vývoje přemístil signály, přicházející od enkoderu do konektoru mimo krabici rozvaděče, aby nedocházelo k rušení signálu, zůstal tento konektor co do počtu kontaktů prakticky nevyužit.



Obr. 8.7 –Zapojení konektoru Canon na rozvaděči

Konektor Canon 15 slouží pro připojení enkoderů obou motorů. Je vyveden mimo rozvaděč z důvodu snížení rušení. Kabely přivedené do tohoto konektoru jsou stíněné.

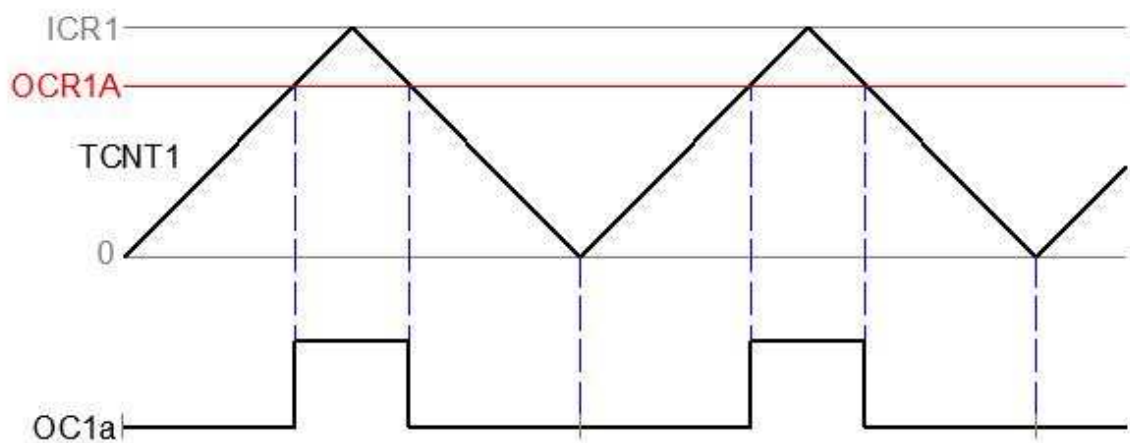


Obr. 8.8 –Zapojení konektoru Canon pro enkodery

## 9 Program mikroprocesoru

### 9.1 Generování PWM

PWM signál pro osu 1 je generován 16. bitového čítače časovače 1. Frekvence generovaného signálu je 1KHz. PWM signál je generován v režimu phase correct, což znamená, že čítač postupně inkrementuje registr TCNT1 od nuly po námi nastavenou hodnotu v registru ICR1. Ve chvíli, kdy dosáhne této hodnoty začne místo inkrementování dekrementovat, až po nulu. Poté se celý cyklus opakuje. Tímto vzniká signál trojúhelníkového tvaru. V registru OCR1A je nastavena hodnota pro porovnávání s registrem TCNT1. Pokud jsou tyto dvě hodnoty stejné, dojde k překlopení logické úrovně na výstupu OC1a. Toto se děje při inkrementování i dekrementování čítače. Čím je hodnota OCR1A bližší hodnotě ICR1 tím je impuls PWM kratší.



Obr. 9.1 –Vytváření signálu PWM

PWM signál pro osu 2 je generován v 8. bitovém čítači-časovači 2. princip generování signálu je podobný, avšak čítač čítá pouze od 0 po 255.

V náhledu programu je uvedeno nastavení pro 8-bitové PWM čítače časovače 2.

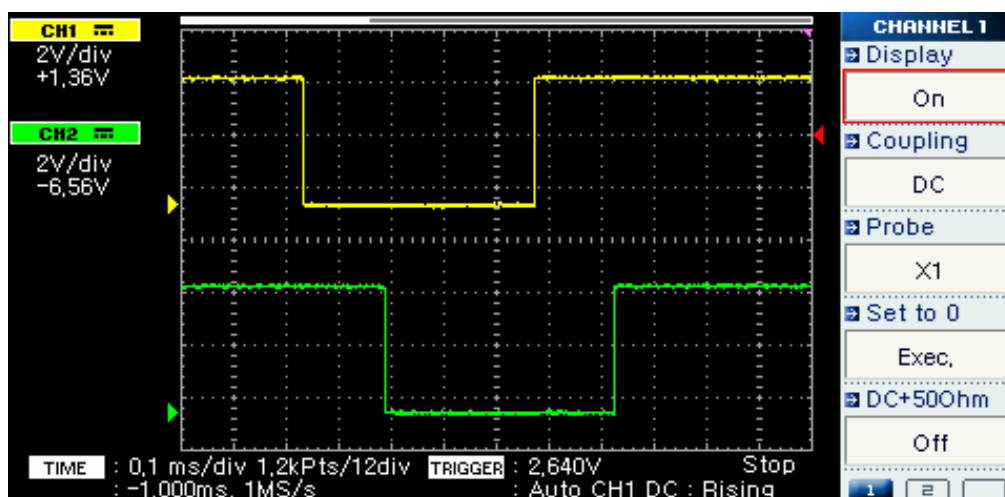
```
'nastaveni pwm2
Tccr2.foc2 = 0
' nastavi OC2 kdyz cita nahoru, cisti dolu.
Tccr2.com21 = 1
Tccr2.com20 = 1
'nastaveni PWM phase correct
Tccr2.wgm21 = 0
Tccr2.wgm20 = 1
'nastveni delice casovace
Tccr2.cs22 = 0
Tccr2.cs21 = 1
Tccr2.cs20 = 1

Ocr2 = 2regulace_1
```



## 9.2 Sčítání impulsů z enkoderu

1 kanál enkoderu je přiveden na vstup přerušení. Ve chvíli, kdy dojde k přerušení je porovnávána hodnota prvního a druhého kanálu. Poté je podle požadovaného směru přičtena, nebo odečtena hodnota proměnné Imp. Pro první směr otáčení čteme signál na obrázku zleva, pro směr druhý zprava. Při prvním přerušení spadne signál na kanálu 1 na nulu, v tu chvíli zjišťujeme, jestli je kanál 2 stále roven jedné. Pokud čteme signál z obrázku zleva tak vidíme že je, proto je směr vyhodnocen jako správný a je přičtena jednička k hodnotě Imp. Po přerušení na nástupnou hranu kontroluji, zdali je ještě signál 2 v nule, pokud ano, směr otáčení je správný a je možno znova přičíst jedničku k hodnotě imp. Pokud čteme signál zleva a dojde k přerušení sestupnou hranou, je logická úroveň signálu 2 rovna nule. Zajímavé je zapsání programu, pro zjištění zdali jde o sestupnou, nebo náběžnou hranu přerušení, používám samotné přerušení jako vstup. To znamená, že po přerušení pomocí INT1 se ptám na hodnotu pinu D.3, což je pin INT1



Obr. 9.2 –Signál z enkoderu

Příklad programu je uveden pro osu jedna a požadovaný směr otáčení nula.

```
If Smer = 0 Then
  If Pind.3 = 1 Then
    If Kanal2 = 0 Then
      Imp = Imp + 1
    Else
      Imp = Imp - 1
    End If
  Else
    If Kanal2 = 1 Then
      Imp = Imp + 1
    Else
      Imp = Imp - 1
    End If
  End If
End If
```

### 9.3 Řízení motoru

Jak bylo uvedeno v kapitole 3.4 zvolil jsem způsob řízení pomocí zpětné vazby. Mnou zvolený způsob řízení spočívá v rozdělení požadované dráhy do několika částí, tomu odpovídá i rozdělení programu do těchto částí. Toto rozdělení se provádí podle hodnoty proměnné Imp, což je hodnota již uražené dráhy, reprezentována počtem impulsů enkoderu (kapitola 9.2), také podle hodnoty proměnné Pozadovane, která reprezentuje požadovaný počet impulsů. Požadovanou dráhu rozdělím na několik částí, konkrétně na rozběh, plný běh, brzdění a dojezd. Tyto 4 částí odpovídají každá své části programu. Následují další dvě části a to část řídící motor, v případě přejetí požadované hodnoty a také část řešící zabrzdění motoru a ukončení řízení a odeslání informace o dokončení úkolu v případě, že počet impulsů Imp je roven požadovanému počtu impulsů.

```
' vypocty rozbehu a brzdeni
Rozbeh = Kriticka1 / Eps1
Brzdeni_p = Kriticka2 / Eps2
Brzdeni = Pozadovane - Brzdeni_p
Konstanta = Pozadovane - Zastaveni
Zbyva = Pozadovane - Imp
Ppp2 = Rozbeh + Brzdeni_p

If Pozadovane < Ppp2 Then
    Ppp1 = Pozadovane / 5
    Rozbeh = Ppp1 * 2
    Brzdeni_p = Ppp1 * 3
    Brzdeni = Pozadovane - Brzdeni_p
    Konstanta = Pozadovane - Zastaveni
    Zbyva = Pozadovane - Imp
End If
```

První částí programu je výpočet mezi jednotlivých stavů, tento výpočet probíhá podle nastavené hodnoty konstanty Eps, která označuje zrychlení a podle konstant kriticka1 a kriticka2, které reprezentují mezní hodnotu regulace, kdy se motor začíná pomalu otáčet. Podle hodnoty Eps je pak vypočítán počet impulsů, připadajících pro rovnoměrný rozběh impulsů. Pomocí propočtu s těmito dvěma hodnotami je stanovena délka rozběhu. Tento propočet je vlastně výpočet délky strany pravoúhlého trojúhelníka, hodnotu Eps lze chápat jako úhel mezi neznámou stranou a přeponou trojúhelníka a hodnotu kriticka1, jako délku protilehlé strany. Stejně pravidlo platí při výpočtu délky brzdění. Pokud je požadovaná dráha tak krátká, že by se překrývaly stavy, je nutné změnit výpočet, v tomto případě jsem zvolil rozdělení požadované dráhy v poměru rozběhu 2:3 brzdění. Pro přehlednost uvádím pouze podmínky pomocí kterých jsou určeny jednotlivé stavy.

```

If Imp < Rozbeh Then
    ROZBĚH MOTORU
End If

```

```

If Imp => Rozbeh Then
If Imp < Brzdeni Then
    PLNÝ VÝKON
End If
End If

```

```

If Imp > Brzdeni Then
If Imp < Konstanta Then
    BRZDĚNÍ
End If
End If

```

```

If Imp > Konstanta Then
If Imp < Pozadovane Then
    DOJEZD
End If
End If

```

```

If Imp = Pozadovane Then
    HOTOVO
End If

```

```

If Imp > Pozadovane Then
    NÁVRAT
End If

```

Stavy rozběhu,brzdění a dojezdu jsou vybaveny také podmínkou zvyšující sílu motoru v případě velkého zatížení. Tento stav může nastat hlavně u osy 2. Princip je velmi jednoduchý a spočívá v kontrolování doby mezi jednotlivými impulsy. Pokud se za stanovenou dobu nezmění počet impulsů, tak je výkon motoru automaticky navýšen. V programu se zdá, že toto navýšení je velmi malé, ale než skutečně dojde k opětovnému rozjetí motoru, proběhne tento cyklus několikrát za sebou. Proměnná Pomoc je poté odečítána od proměnné Regulace.

```

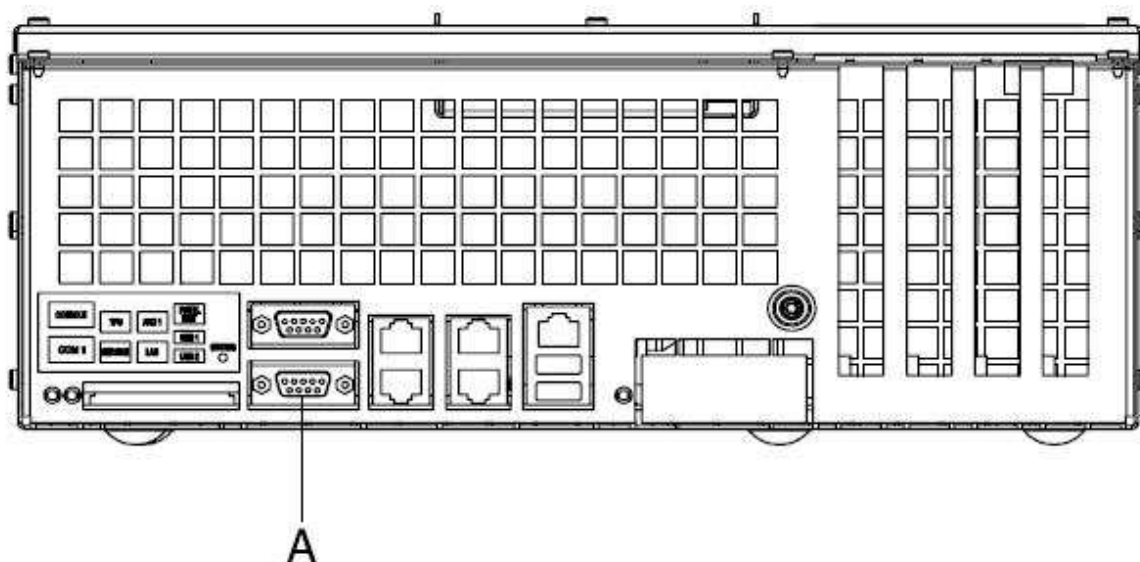
Imp_pred = Imp
Waitms 300
If Imp_pred = Imp Then
    Pomoc = Pomoc + 40
End If

```

## 10 Komunikace mezi mikroprocesorem a ABB IRC5

### 10.1 Propojení mikroprocesoru a IRC5

Komunikace mezi mikroprocesorem a řídicím systémem ABB IRC5 je realizována datovým přenosem po sériové lince RS-232. Pro úpravu napěťových úrovní mezi RS-232 a mikroprocesorem je použit obvod MAX 232, který byl blíže popsán v kapitole 8.3. Přenos dat je realizován na přenosové rychlosti 9600 bitů za sekundu. Pro připojení mikroprocesoru k IRC-5 je zapotřebí nekřížený kabel s devíti-pinovými konektory Canon D-SUB. Kabel musí být provedení samice-samec, dlouhý alespoň 4m. Konektor typu samice je připojen do konektoru COM 1, který se nachází uvnitř skříně IRC5 na počítačové jednotce. Druhou stranu kabelu připojujeme přímo k devíti-pinovému konektoru mikroprocesoru (kapitola 8).



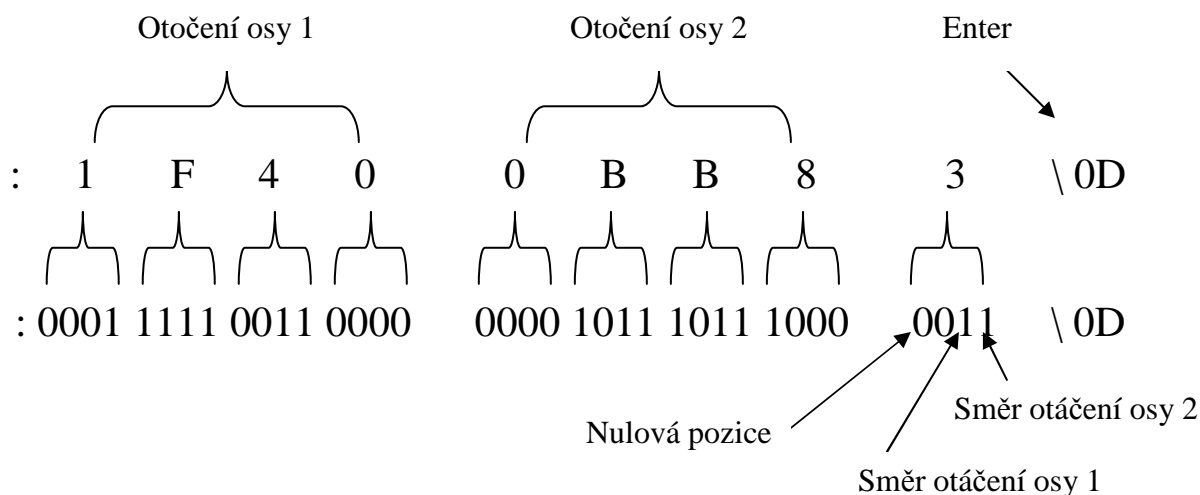
*Obr.10.1 –Umístění COM1 na počítačové jednotce*

### 10.2 Formát přenášených dat

Z IRC5 do mikroprocesoru je potřeba přenést informace o požadovaném otočení a směru otáčení pro každou osu. Také je potřeba přenést povel k nastavení nulové polohy polohovadla. Protože přepočítání mezi stupni natočení a počtem impulsů probíhá v IRC5 přenášená informace obsahuje informaci o počtu impulsů. Pro naplnění datového rozsahu word je 16-ti bitová. Tyto informace jsou odesílány dvě. Zpráva je zakončena dalšími 4 bity, které udávají směry otáčení nebo požadavek na nulovou polohu. Zpráva je odesílána v hexadecimálním formátu. Zpráva začíná dvojtečkou a je ukončena enterem (\0D).

Pro požadované otočení osy jedna o 8000 impulsů ve směru 0 je zpráva :1F400000\0D

Pro požadované otočení osy jedna o 8000 impulsů ve směru 1 a otočení osy 2 o 3000 impulsů ve směru 1 je zpráva :1F400BB83\0D



Obr.10.2 –Rozpis zprávy na bity, popis nastavení směrů a NP

### 10.3 Odesílání zprávy z IRC5

Odesílání zprávy z IRC5 je jednoduché. Pro otestování funkce je lepší nejprve odesílat zprávu z IRC5 na počítač, kde je jednoduché si zkontrolovat výstupní informaci a funkčnost komunikace. K tomu propojení je však potřeba křížený kabel samec-samec pro RS-232. Informace o odesílání informací jsou uvedeny v manuálech ABB. Konkrétně jde o manuál nazvaný *Robot communication and I/O control*, který najdete na CD přiloženém k robotu ABB v sekci *Application manuals* v podsekci *RobotWare options*. Na tomto CD také najdete manuál k jazyku Rapid, který je základním programovacím jazykem robotů od ABB. Tento manuál najdete v sekci *Technical reference manual* a podsekci *Rapid manuals*. Tento manuál obsahuje nejlepší příklady použití všech instrukcí a funkcí v jazyce rapid. V následující ukázce programu jsou uvedeny příkazy, potřebné k odeslání této zprávy z IRC5 do mikroprocesoru. Před použitím je třeba deklarovat proměnou channel.

```
var iodev channel;

open "com1:", channel\bin;
writestrbin channel, ":1FA40BB83\0D";
close channel;
```

### 10.4 Příjem zprávy v mikroprocesoru

Mikroprocesor je vybaven zařízením USART, což je zařízení pro univerzální sériový přenos. Základní části USART jsou generátor časového signálu, přijímač a vysílač. Časový generátor se skládá z části pro synchronizaci se zařízeními typu master, a ze zařízení pro generování přenosové frekvence. Přijímač je nejkomplexnější část tohoto zařízení. Tato část zvládá čtení a zařazení dat během asynchronních přenosů. Přijímač také obsahuje kontrolor parity, kontrolní logiku, řadící registr a také zdvojený buffer UDR, do kterého se

zapisují již zpracována data. Důležité je povolení přerušení Urcx na které reaguje přijímač a nastavení předpokládané délky zprávy. Dalším krokem je hledání : jako začátku zprávy, pokud je tento znak nalezen je uložena jeho adresa. Tato Adresa je označena za počátek zprávy. Zpráva je ukládána do paměti z bufferu UDR dokud není znak enter, poté je ověřena délka zprávy, pokud se rovná předpokládané délce zprávy je zpráva platná.

```

Znak = UDR
If Message_begin = 0 Then
    If Znak = ":" Then
        Buffer_pointer = Varptr(buffer)
        Message_begin = 1
    End If
Else
    ' test na konec zpravy (znak ENTER)
    If Znak <> 13 Then
        If Buffer_pointer < Buffer_end Then
            Out Buffer_pointer , Znak
            Incr Buffer_pointer
        Else
            Message_begin = 0
        End If
    Else
        If Buffer_pointer = Buffer_end Then
            Message_recieved = 1
        End If
        Message_begin = 0
    End If
End If
Return

```

Těchto devět přijatých bajtů se 4 platnými bity je pak upraveno z hexadecimálního kódu na binární. Bajty jsou rotovány a sčítány tak aby bylo znovu složena odeslaná hodnota. Tato část programu je tedy posledním zpracováním dat, proto je také velmi vhodným místem pro vynulování všech proměnných používaných při řízení. Tímto vynulováním je zajištěn automatický rozběh programu pro řízení hned po dokončení zpracování dat.

```

If Message_recieved = 1 Then
    Message_recieved = 0

    Temp = Hex2byte(pozd)
    Rotate Temp , Left , 4
    Pozh = Temp
    Temp = Hex2byte(pozc)
    Pozh = Pozh + Temp

    Temp = Hex2byte(pozb)
    Rotate Temp , Left , 4
    Pozl = Temp

```

```

Temp = Hex2byte(poza)
Pozl = Pozl + Temp

Temp = Hex2byte(2pozd)
Rotate Temp , Left , 4
2pozhl = Temp
Temp = Hex2byte(2pozcl)
2pozhl = 2pozhl + Temp

Temp = Hex2byte(2pozbl)
Rotate Temp , Left , 4
2pozll = Temp
Temp = Hex2byte(2poza)
2pozll = 2pozll + Temp

Temp = Hex2byte(smery)
Poms = Temp
Smer = Poms.1
2smer = Poms.0
Nulova = Poms.4

Imp = 0
2imp = 0
Auf = 1
Hotovo = 0
2hotovo = 0
Uhotovo = 0
End If

```

### 10.5 Informace o dokončení

Pro zpětnou vazbu mezi IRC5 a mikroprocesorem je znovu použita komunikace po sériové lince. Z mikroprocesoru je odeslána informace A, která představuje úspěšné dokončení úkolu. V případě že polohovadlo nedojede na určenou pozici, například z důvodu dojezdu na polohu dorazu, je odeslána informace B, popřípadě C, o nedokončení operace. Odesílání informace z mikroprocesoru je provedeno velmi jednoduše pomocí příkazu print. Následující program popisuje odeslání informace o úspěšném dokončení operace. Proměnná Auf zajišťuje že k odeslání informace dojde pouze jednou.

```

Uhotovo = Hotovo And 2hotovo
If Uhotovo = 1 Then
  If Auf = 1 Then
    Auf = 0
    Print "A";
    Led1 = 0
  End If
End If

```

Takto odeslána zpráva je přijata v IRC5 a dále vyhodnocena, podle potřeby dané aplikace. Ukázka programu obsahuje přijetí zprávy a její zobrazení na displeji jednotky flexpendant. Na začátku programu je nutno deklarovat proměnou text jako formát string.

```
MODULE MainModule
var string text;
PROC main()
    open "com1:", channel\bin;
    text:=ReadStrBin(channel,1);
    TPWrite text;
    close channel;
ENDPROC
ENDMODULE
```

Zpracování takto přijatých zpráv je již na požadavcích dané aplikace. Nejčastější použití je však zastavení procesu v případě příjmu zpráv B a C, při přijetí zprávy A lze dále pokračovat v programu. Pokud dojde k zastavení polohovadla pomocí bezpečnostního stop tlačítka, je celý systém včetně mikroprocesoru odpojen od napájení, proto není schopen odeslat jakoukoliv další informaci. Pro bezpečnostní zastavení pomocí flexpendantu lze použít odeslání zprávy :000000000\0D. Tím se polohovadlo okamžitě zastaví a zabrzdí.



## 11 Historie vývoje

Protože člověk není vševědoucí některé věci se prostě nepodaří na první pokus. Při vývoji došlo k několika omylům, které ovšem stojí za zmínku.

### 11.1 Vývoj H-mostu

Při tvorbě h-mostu byly hned od počátku jasné některé kritéria, jiné vyplynuly až zkušenostmi z předchozích zapojení. Tranzistory byly od počátku navrženy s dostatečnou rezervou. Chyba nastala v prvním návrhu zapojení, jehož řešení bylo původně částečně inspirováno z již navržených obvodů pro řízení motorů o napájecím napětí 24V. Toto zapojení spočívalo v řízení dvou spínaných tranzistorů pomocí jednoho řídícího obvodu a bylo úspěšně odzkoušeno jako funkční při napájecím napětí do 30V, protože v době testování tohoto zapojení nebyl silnější zdroj považován za nutný. Pro tento obvod byl navržen a vyroben plošný spoj. Po připojení na vyšší napájecí napětí se však objevila zcela zřejmá chyba v zapojení. Použitím jen jednoho spínacího obvodu bylo spínací napětí tranzistorů naprosto nesmyslně zapojeno proti zemi, v obvodu došlo k otevření obou tranzistorů, zkratu a zničení prakticky všech součástek. Toto zapojení ovšem zmiňuji proto, že je plně funkční a použitelné pro motory s nižším napájecím napětím.

### 11.2 Vývoj enkoderu

Po neúspěšném pokusu o zprovoznění stávajícího enkoderu bylo rozhodnuto o vytvoření vlastního enkoderu. První model byl vyroben z plastu, ale protože přes něj infračervené záření procházelo musel jsem použít alobal k obalení kolečka enkoderu. Další vývojová verze byla již z kovu ale pouze pro jeden kanál, bez nulové dírky a pouze s 18 dírkami po obvodu. Fotografie najdete v příloze dokumentu.

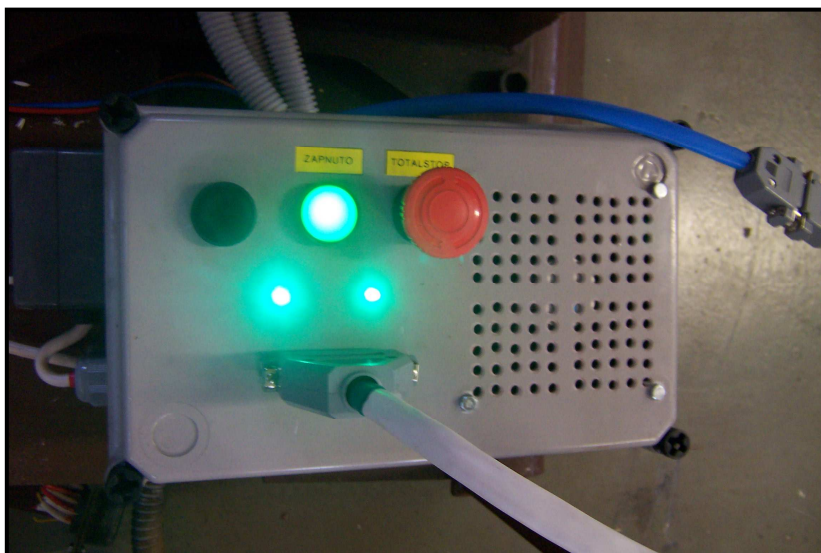


*Obr.11.1 –První enkoder*

## 12 Závěr

Téma této bakalářské práce je řízení polohovadla pro ABB robot. Zadání práce se dá jednoduše shrnout jako analýza a zprovoznění nefunkčního polohovadla ZTS, návržení řídicího modulu pro toto polohovadlo a propojení s roboty firmy ABB. Zadání nespočívalo pouze v návrhu ale také v realizaci a uvedení do provozu, tato praktická stránka věci udělala tuto bakalářskou práci složitější, ovšem velmi zajímavou.

Stejnoseměrné motory polohovadla jsou regulovány pomocí Signálu PWM. Tento signál je generován mikroprocesorem a jsou jím spínány výkonové tranzistory H-mostu. Pro zpětnou vazbu z motoru do mikroprocesoru byly vytvořeny enkodery vlastní výroby. Dále bylo polohovadlo osazeno snímači detekujícími nulovou polohu a koncové dorazy druhé osy. Byl vytvořen obvod pro ovládání brzd motorů, byly vytvořeny napěťové stabilizátory a zabudovány zdroje pro napájení. Modul je vybaven také bezpečnostním tlačítkem pro okamžité vypnutí stroje.



Hlavní částí celého systému je mikroprocesor Atmel ATmega16. S jeho pomocí je generován PWM signál, jsou vyhodnocovány vstupní data z enkoderu a ovládá veškerá další řízení polohovadla. Mikroprocesor je propojen s řídicím systémem IRC5 robotů ABB pomocí sériové linky RS-232. Mikroprocesor přijímá z tohoto řídicího systému zprávu o požadovaném natočení obou os, provede jejich natočení a vrací do řídicího systému informaci o ukončení procesu.

## 14 Použitá literatura

- [1] *Datasheet mikroprocesoru ATmega16*  
URL: [http://www.atmel.com/dyn/resources/prod\\_documents/doc2466.pdf](http://www.atmel.com/dyn/resources/prod_documents/doc2466.pdf) (10.5.2010)
- [2] *Datasheet tranzistoru IRF 2807*  
URL: [http://www.datasheetcatalog.com/datasheets\\_pdf/H/C/P/L/HCPL-3101.shtml](http://www.datasheetcatalog.com/datasheets_pdf/H/C/P/L/HCPL-3101.shtml) (10.5.2010)
- [3] *Datasheet obvodu HCPL-3101*  
URL: <http://www.datasheetcatalog.org/datasheet/hp/HCPL-3100.pdf> (10.5.2010)
- [4] *Datasheet obvodu 74HC132*  
URL: [http://www.datasheetcatalog.org/datasheet/philips/74HC\\_HCT132\\_CNV\\_2.pdf](http://www.datasheetcatalog.org/datasheet/philips/74HC_HCT132_CNV_2.pdf) (10.5.2010)
- [5] *Datasheet infračervené diody L-53F3BT*  
URL: [http://www.gme.cz/\\_dokumentace/dokumenty/520/520-016/dsh.520-016.1.pdf](http://www.gme.cz/_dokumentace/dokumenty/520/520-016/dsh.520-016.1.pdf) (10.5.2010)
- [6] *Datasheet infra tranzistoru L-53P3BT*  
URL: [http://www.gme.cz/\\_dokumentace/dokumenty/520/520-017/dsh.520-017.1.pdf](http://www.gme.cz/_dokumentace/dokumenty/520/520-017/dsh.520-017.1.pdf) (10.5.2010)
- [7] *Wikipedie: Stejnosměrný motor*  
URL: [http://cs.wikipedia.org/wiki/Stejnosc%C4%9Brn%C3%BD\\_motor](http://cs.wikipedia.org/wiki/Stejnosc%C4%9Brn%C3%BD_motor) (2.5.2010)
- [8] *Elektrika.cz Princip stejnosměrných motorů*  
URL: <http://elektrika.cz/data/clanky/princip-stejnoscmernych-motoru/view> (2.5.2010)
- [9] *Wikipedie: PWM*  
URL: [http://en.wikipedia.org/wiki/Pulse-width\\_modulation](http://en.wikipedia.org/wiki/Pulse-width_modulation) (2.5.2010)
- [10] *Datasheet tranzistoru IRF5210*  
URL: <http://www.irf.com/product-info/datasheets/data/irf5210.pdf> (10.5.2010)
- [11] [CD-ROM] ABB Robot documentation M2004, IRB 140  
*Aplication manual, Robot comunication and I/O control.*  
RobotWare 5.0 Document ID: 3HAC020435-001, Revision: E.
- [12] [CD-ROM] ABB Robot documentation M2004, IRB 140  
*Technical reference manual, RAPID Instructions, Functions and Data types*  
RobotWare 5.0, Document ID: 3HAC 16581-1, Revision: G
- [13] NOVÁK, P. *Mobilní roboty - pohony, senzory, řízení*. 1. vyd. Praha : BEN - technická literatura, 2005. str. 247 s. ISBN 80-7300-141-1.

## 15 Přílohy dokumentu

Schémata zapojení a osazovací plány

- [A] H-most
- [B] Obvod pro úpravu signálu enkoderu
- [C] Obvod pro ovládání brzdy
- [D] Mikroprocesor
- [E] Stabilizátory napětí